



(P2001-323932A)

(54) [Title of the Invention] ROLLING SUPPORTING DEVICE

(57) [Summary]

[Object]

To provide a rolling supporting device, having an excellent endurance with respect to vibration, impact load or high speed continuous drive and high temperature placement still.

[Solving Means]

In a rolling bearing comprising an outer ring 2, an inner ring 1, and a plurality of rolling elements 3 disposed rotatably between the outer ring 2 and the inner ring 1, wherein the rolling elements 3 are made of a steel having a 3% by weight or more Cr content, a nitride layer having a Hv 900 or higher hardness is provided on a surface layer thereof. Then, the thickness of the nitride layer is provided by 1.5% or more and 6% or less with respect to the rolling element diameter D_a .

[Claim]

[Claim 1] A rolling supporting device comprising an outer member, an inner member, and a plurality of rolling elements disposed rotatably between the outer member and the inner member, characterized in that at least the rolling elements out of the outer member, the inner member, and the rolling elements are made of a steel having a 3% by weight or more Cr content, and a nitride layer having a Hv 900 or higher hardness is provided on a surface layer thereof such that the thickness of the nitride layer is set to be either 1.5% or more and 6% or less with respect to the rolling element diameter D_a , or 1.5% or more with respect to the rolling element diameter D_a and 100 μm or less.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field to which the Invention Pertains]

The present invention relates to a rolling supporting device such as a rolling bearing, a linear guide and a ball screw. Specifically, it relates to a rolling supporting device to be assembled in an information appliance such as a hard disc drive device (hereinafter it is referred to as an HDD), a video tape recorder (hereinafter it is referred to as a VTR) and a digital audio tape recorder (DAT) or an appliance required to have a quiet property such as a fan motor, a cleaner motor and a turbo charger for an automobile, and suitable for supporting a rotating portion such as a spindle or a swaying motion part such as a swing arm as a part of a constituent part of the HDD, or the like.

[0002]

[Prior Art]

In general, according to a rolling supporting device such as a rolling bearing, a linear guide and a ball screw, a rolling motion is executed between an outer member, an inner member and a rolling element constituting the rolling supporting device so that the outer member, the inner member and the rolling element repeatedly receive the contact stress. Therefore, for the material constituting these members, properties such as hardness, load endurance, a long rolling fatigue life and a good wear resistance with respect to slippage are required.

[0003]

Then, in general, as a material constituting these members, the SUJ2 of the Japanese Industrial Standards as a bearing steel, the SUS440 of the Japanese Industrial Standards or a 13 Cr based martensite based stainless steel as a stainless steel, and a steel corresponding to the SCR420 of the Japanese Industrial Standards processed by quenching or a carburization or carburization and nitriding process, or the like as a case-hardened steel are used frequently. Then, in order to obtain necessary physical properties such as the rolling fatigue life, or the like, as these materials, those having an HRC58 to 64 hardness by applying quenching and tempering are used.

[0004]

Out of the rolling supporting devices mentioned above, particularly for the ball bearings used for the information appliances such as an HDD and a VTR or a fan motor, since demand for the reduction of torque, sound and noise is extremely strict, they have the finish process of an extremely high accuracy. For example, for a rolling bearing (hereinafter it is described as a bearing for a spindle) required to have an extremely high quietness, for pivoting the rotating portion such as a spindle used for the HDD, an SUJ2 as a high carbon chromium bearing steel is often used.

[0005]

Moreover, for a rolling bearing (hereinafter it is described as a bearing for a swing arm) for pivoting the swing motion part such as a swing arm, since the absolute dry specification is often required, an SUS440C or a 0.7C-13Cr stainless steel as a martensite based stainless steel, or a stainless steel similar thereto is used often.

[0006]

Then, in order to obtain the required physical properties such as the hardness and the wear resistance, quenching and tempering are applied to these materials so as to have the HRC 58 to 64 bearing ring hardness. Moreover, except a special case, the rolling element is basically made of the same material as that of the bearing ring or either one of the outer ring or the inner ring often.

[0007]

[Problems to be Solved by the Invention]

However, recently, according to the improvement of the portability by the miniaturization of the appliances, various problems of the rolling supporting devices have surfaced. That is, it has been revealed by the recent studies that since the appliances are exposed more frequently to dropping or vibration during the transportation according to the miniaturization, the rolling supporting devices assembled in the appliances are damaged even though it is slightly so as to cause the performance deterioration of the appliances.

[0008]

That is, in the case where an impact load is applied to the appliances, particularly in the case of a small ball bearing, or the like, due to a small contact ellipse, even by a relatively small impact load, the raceway surface is deformed permanently so as to generate the sound deterioration, the rotation torque irregularity, or the like so that the performance of the appliance with the ball bearing, or the like assembled is deteriorated. As it is disclosed in Japanese Patent Application Laid-Open No. 7-103241, this problem is considered to be generated due to the low yield stress of the soft phase of the residual austenite, or the like present inside the steel. In order to reduce the residual austenite while maintaining the hardness necessary for the ball bearing, a countermeasure for preventing the sound deterioration due to the impact load, or the like has been applied by reducing the residual austenite as much as possible or completely vanishing the same by applying a sub zero process after quenching, or tempering at a relatively high temperature of 220 to 240°C in the case of the SUJ2.

[0009]

However, recently, according to the improvement of the portability of the appliance, the chance of exposure to the vibration is increased. As a result, a problem of the fretting generation due to minute vibration or the sway at the contact surface of the rolling element and the inner member or the outer member of the rolling supporting device so as to deteriorate the sound has surfaced. The invention disclosed in the above-mentioned patent application mainly pays attention to the sound deterioration by the impact load so that the fretting generated by the vibration or the operation of the appliance, or the like is not considered at all. Moreover, as the practical problem, according to a relatively small rolling supporting device used for the information appliances such as an HDD and a VTR or the other appliances required to have the quietness, only the countermeasure for the lubricant surface has been taken without having any countermeasure in terms of the material.

[0010]

To the fretting problem, recently, application of a ceramic ball made of a silicon nitride, or the like has been discussed. Since the ceramic ball has an extremely high hardness in addition to a good sliding property, it can be damaged extremely rarely. Therefore, by only having a ceramic ball as the rolling element, the adhesive wear is restrained so that the fretting endurance is dramatically improved compared with a steel ball. Furthermore, by using a ceramic ball for the rolling element, the sound endurance after the high speed continuous drive is extremely good.

[0011]

However, the cost of the ceramic ball is extremely high compared with the steel ball. Furthermore, since it has an extremely high elastic coefficient compared with the steel, it receives a large contact surface pressure compared with the steel ball, and thus the trace can easily be formed on the bearing ring by the impact load. Therefore, a problem is involved in that the sound deterioration can easily be generated compared with the steel ball.

[0012]

Moreover, due to the extremely small linear expansion coefficient compared with the steel ball, a problem is involved in that the rigidity is lowered due to the pressurization failure due to the temperature rise at the time of operating the appliance. Furthermore, since the ceramic in general is an insulator, foreign substances are attracted by the electrostatic function so that the failure ratio by the dust sound is made higher. Furthermore, due to the extremely small specific gravity, a problem is involved in that the conveyance trouble can easily be generated in the assembling process due to the electrostatic function, or the like. Therefore, the performances of the information appliances and the other appliances required to have the quietness are not always satisfied.

[0013]

Furthermore, according to the rolling supporting devices, the problems accompanied by the

recent further high performances (for example, the high rotation speed of a bearing for a spindle) have newly surfaced. Hereinafter, with reference to an example of the case where a rolling bearing is the rolling supporting device, the problems will be explained. For example, in the case of an HDD, in addition to the miniaturization of the device, the rotational frequency of the spindle is further made higher recently so that a high impact resistance and a high speed endurance are required for a rolling bearing used therefor.

[0014]

Moreover, according to a swing arm with a magnetic head loaded, in order to ensure a high speed seek characteristic, a voice coil motor having a higher power has been used, and thereby the ambient temperature of the rolling bearing tends to be more and more made higher. As a result, in the case where the rolling bearing is stored at a high temperature for a long time in a stoppage state (hereinafter, it is described as a high temperature still storage), a problem of the sound deterioration due to the Brinell trace formation in the contact surface of the rolling element and the bearing ring has become conspicuous so that the endurance with respect to the high temperature still storage is further called for.

[0015]

The Brinell trace formation by the high temperature still storage is considered to be generated due to the facilitation of the decomposition of the residual austenite at the contact portion. Therefore, as in the case of the impact load deterioration prevention, a countermeasure for preventing the sound deterioration due to the high temperature still storage has conventionally been applied by reducing the residual austenite as much as possible or completely vanishing the same by applying a sub zero process after quenching, or tempering at a relatively high temperature of 220 to 240°C in the case of the SUJ2.

[0016]

However, the effect of such a countermeasure is solely to the extent that the sound

deterioration can be prevented in the case of a long term storage at a temperature of about 70 to 80°C according to the rolling bearing in the present situation, and thus a sufficient effect may not always be provided for the high temperature still storage at a temperature higher than that. If the performance of the HDD will be further made higher in the future, a rolling bearing having the endurance with respect to the high temperature still storage at a temperature higher than 100°C is expected to be needed, and thus a further countermeasure will become necessary.

[0017]

The present invention has been achieved in order to solve the problems of the conventional rolling supporting devices as mentioned above, and the objects thereof are firstly to effectively prevent the performance deterioration of the rolling supporting device due to the vibration or the impact load accompanied by the facilitated portability of the appliance with the rolling supporting device assembled, and secondly to improve the various endurances (the impact resistance, the high speed endurance, the endurance with respect to the high temperature still storage) of the rolling supporting device made lower accompanied by the high performance of the appliance.

[0018]

[Means for Solving the Problems]

The present inventors have first examined the factors of the sound deterioration due to the minute vibration or the sway of the appliance in detail so as to find out that the main cause thereof is the damage of the rolling element. That is, according to the conventional rolling element made of a common bearing steel such as the SUJ2, as shown in Fig. 1, the remarkable fretting wear trace (the lateral stripe patterns in Fig. 1) is generated due to the vibration or the sway at the contact portion of the inner ring and the outer ring so as to remarkably deteriorate the rolling element accuracy, and thereby the sound deterioration is brought about.

[0019]

Then, with respect to the rolling supporting devices for the ball bearing, or the like,

required to have the extreme quietness, used for the HDD, the VTR, or the like, discussion has been held repeatedly on whether the performances of the rolling supporting device can be improved dramatically by basically utilizing the steel characteristics as they are, and forming an appropriate improvement layer on the surface of the rolling supporting device. Although the surface improvement methods include deposition, plating, or the like, even if the improved coating film obtained thereby has the excellent sliding property, it is extremely difficult to form an even improvement layer on the surface of the complicated shape parts. Furthermore, as a rolling member, which receives a high shear stress, the coating film may easily be peeled off or dropped due to the insufficiency of the interface strength between the mother material and the coating film so that a problem is involved in that the reliability is lacked, and thus it is not preferable.

[0020]

Then, the present inventors have discussed the applicability of the nitriding process as one of the surface improvement methods for the steel parts. The nitriding processes include the salt bath nitriding, the gas nitriding, the ion nitriding process, or the like, and they have been utilized for a long time as the surface process methods for the mechanical parts required to have the sliding property. In general, they are the methods of maintaining a product processed in a desired shape at a temperature of about 500 to 600°C, diffusing and permeating a nitrogen from the surface and hardening.

[0021]

Unlike the deposited improvement layer, since the nitride layer formed on the surface accordingly is made by diffusion and permeation, it is considered to have a higher interface strength. However, in the case of a rolling part, which receives a higher shear stress, since it receives a high shear stress at a portion deeper than the nitride layer, the application thereof is not easy. From these reasons, it has merely been executed so far basically for the purpose of applying the sliding property of the various mechanical parts.

[0022]

As the specific application examples of the nitriding process to a rolling bearing and the other rolling parts, there are Japanese Patent Application Laid-Open Nos. 6-341442, 10-131970, or the like. Japanese Patent Application Laid-Open No. 6-341442 proposes a rolling bearing having the excellent corrosion resistance, to be used preferably for a roller clutch for a washing machine by applying the salt base nitriding to at least one of the mechanical parts so as to form a compound layer having a Hv 654 to Hv 830 hardness by a 5 to 20 μm thickness on the surface thereof.

[0023]

Moreover, Japanese Patent Application Laid-Open No. 10-131970, as in the case of the Japanese Patent Application Laid-Open No. 341442, proposes a rolling bearing to be used preferably for the machines such as a water pump for an automobile engine by applying a nitriding process to at least one of the constituent parts made of in general a bearing steel so as to improve the corrosion resistance and improving the baking resistance by limiting the average particle size of the nitride in the surface layer to 1 μm or less.

[0024]

However, they aim at mainly the corrosion resistance and the baking resistance. Not only the core part hardness with respect to the shear stress, which is essential for the rolling bearing, has hardly been considered, the problems peculiar to the ball bearing for the information appliances such as the HDD and the solving method therefor are not discussed. Therefore, the content is extremely insufficient for the application as the ball bearing for the information appliances.

[0025]

In particular, according to Japanese Patent Application Laid-Open No. 10-131970, there is no mention concerning the depth of the nitride layer. Furthermore, the surface is assumed to be left as it is after the nitriding process without applying the so-called grinding finish, and thus it can hardly be used as the ball bearing for the information appliances, required to have the quietness.

Furthermore, Japanese Patent Application Laid-Open No. 5-179401 proposes the improvement of the rolling fatigue life in the case of the foreign substance introduction by forming a hard nitride layer of about Hv 1000 by executing a nitriding process to a predetermined steel containing a Cr by 3% by weight or more so as to prevent the flaw by the foreign substances. However, as in the case of the invention, this invention does not touch upon the problems peculiar to the ball bearing for the information appliances, that is, the quietness, the fretting, the sound deterioration by the impact load, or the problems such as the pressurization failure, or the like and the solving methods therefor at all.

[0026]

Then, the present inventors have elaborately discussed the improvement of the sound endurance and the fretting resistance, and furthermore, whether the problems of the impact resistance, the pressurization failure, the trouble by the electrostatic function, or the like as the shortcomings of the hybrid bearing can be solved as in the case of the rolling bearing utilizing a ceramic ball (hereinafter it is mentioned as a hybrid bearing) by applying the nitriding process technique to the rolling element of the rolling supporting device such as a rolling bearing.

[0027]

As a result, it was found out that a rolling supporting device such as a ball bearing for the information appliances, having the excellent quietness, fretting resistance, impact resistance, or the like can be provided by using as the mother material of the rolling element a predetermined bearing steel, providing a nitride layer preferably having a Hv 1100 or more hardness as the surface layer, and furthermore, optimizing the hardness of the nitride layer base, the thickness of the nitride layer, or the like. Furthermore, the present inventors have found out that the endurance of the rolling supporting device (the high speed endurance, the endurance with respect to the high temperature still storage, or the like) can be dramatically improved by having the same configuration as the above-mentioned rolling element for the outer member and the inner member as the rolling

members comprising the rolling supporting device in addition to the rolling element. Thereby, the problems accompanied by the high performances of the appliances with the rolling supporting devices assembled can be solved.

[0028]

Accordingly, the rolling supporting device according to the present invention comprises an outer member, an inner member, and a plurality of rolling elements disposed rotatably between the outer member and the inner member, characterized in that at least the rolling elements out of the outer member, the inner member, and the rolling elements are made of a steel having a 3% by weight or more Cr content, and a nitride layer having a Hv 900 or higher hardness is provided as the surface layer thereof such that the thickness of the nitride layer is provided either by 1.5% or more and 6% or less with respect to the rolling element diameter D_a , or by 1.5% or more with respect to the rolling element diameter D_a and 100 μm or less.

[0029]

As the rolling supporting devices of the present invention, for example, a rolling bearing, a ball screw, a linear guide (straight movement guiding bearing), or the like can be presented. Then, the outer member and the inner member in the present invention denote an outer ring and an inner ring in the case where the rolling supporting device is a rolling bearing. Moreover, similarly in the case of a ball screw, they denote a nut having a female screw and a screw shaft having a male screw. Furthermore, similarly in the case of a linear guide (straight movement guiding bearing), they denote a slide and a guide rail.

[0030]

Hereinafter, the critical significance of the present invention will be explained.

(As to the steel as the constituent material of the outer member, the inner member, and the rolling element)

As the steel for the bearing to be the mother material of the outer member, the inner

member and the rolling element as the rolling members comprising the rolling supporting device, a high Cr steel containing a Cr at least by 3% by weight, preferably 5% by weight or more, and more preferably by 8% by weight or more in terms of the surface characteristic, particularly in terms of the fretting resistance, is used.

[0031]

Furthermore, in terms of the quietness, it is preferable that the relationship between the carbon (C) content of the steel and the Cr content satisfies $C\% \leq -0.05 \text{ Cr}\% + 1.41$. As a result, the nitride layer formed on the surface has an extremely high hardness owing to the precipitation of the minute Cr nitride, or the like so that the sliding property, the fretting resistance, the high speed endurance, or the like are dramatically improved. Moreover, since the nitride layer has the excellent heat resistance, or the like so that in the case where a certain condition is provided concerning the thickness thereof, the effect of dramatically improving the endurance with respect to the high temperature still storage, the impact resistance, or the like can be achieved. This will be described later.

[0032]

Moreover, in the case where the formula is not satisfied, due to production of a coarse eutectic carbide exceeding a 10 μm longer axis in the solidifying process, a problem of the short circuit may be generated at the time of wire drawing of the material in the case of a rolling element, or a problem of incapability of obtaining a targeted accuracy may be generated due to disturbance of the finish process accuracy by the eutectic carbide at the time of the finish process, or the like. In order to prevent generation of the problems, as to the size of the contained eutectic carbide, it is preferable that the longer axis is 5 μm or less.

[0033]

Moreover, due to the nitriding process, the core part receives the tempering at an extremely high temperature so as to be slightly softened. In order to restrain the softening of the core part, it

is preferable to have the total content of the carbon and the nitrogen by 0.45% by weight or more. By using an alloy containing a nitrogen by 0.05% by weight or more, the softening can further be restrained and furthermore, it contributes to having the carbide finer, and thus it is preferable. Moreover, by compositely adding a nitride forming element such as Mo, V, W, Nb, Al, and Si in addition to the above-mentioned components, the fine nitrides thereof are precipitated so as to further improve the endurance, and thus they may be added in a tolerable range in terms of the cost.

[0034]

(As to the production method of the rolling element and the complete product quality)

For the production of the rolling element, first, using a line material with the cold drawing process, a material ball is produced by a cold process with a header or a cutting process and a flushing, or the like. After quenching, a sub zero process and tempering are carried out, and a coarse grinding process is executed. Thereafter, a semi processed ball to be described later will be produced. At the time, as a preventive measure against the surface flaw generation in handling, it is preferable to preliminarily improve the surface hardness by the mechanical hardening process by barrel or ball peening, or the like. These mechanical hardening methods contribute also to the induction transformation of the residual austenite in the steel into the martensite so that the effect of restraining the deterioration of the impact resistance of the rolling supporting device derived from the rolling element can also be provided.

[0035]

Thereafter, the grinding process is executed to a size with a set machining allowance added to the target size, that is, the complete product size (hereinafter, one obtained accordingly will be referred to as a semi processed ball). The set machining allowance specifically denotes a machining allowance needed at the time of executing the finish process to the targeted accuracy, and of course one including the expansion or contraction amount by the nitriding process. The semi processed ball accuracy is preferably 3.0 μm or less sphericity, and it is more preferably 1.0

μm or less. The reason is as follows.

[0036]

In general, the nitride layer is produced in a shape according to the shape of a matter to be processed. Therefore, in the case where a nitride layer is provided on a rolling element having a poor sphericity and a finish process is applied, it is ground unevenly so that the nitride layer thickness becomes uneven, and at the same time, the internal stress balance generated by the nitriding process also collapses, and thus a long time is needed for grinding in order to achieve the accuracy, or in some cases, the target accuracy may not be attained.

[0037]

As the nitriding processes, in general the gas nitriding, the salt bath nitriding, the ion nitriding, or the like can be presented. The ion nitriding lacks the mass productivity, and it is strongly affected by the shape of the matter to be processed, or the like, and thus an even nitride layer cannot be formed on the sphere surface. Moreover, the gas nitriding and the salt bath nitriding in general have a relatively high processing temperature of 480 to 600°C. At the time, the core part is softened by the tempering function.

[0038]

However, in the case where a load is applied to the rolling supporting device, since a large shear stress is applied in the depth direction, the hardness of the base of the nitride layer is extremely important. That is, in the case of the above-mentioned general nitriding methods, if the nitriding process temperature is high and the core part is extremely softened without a sufficient heat resistance of the mother material, breakage of the surface nitride layer may be brought about at the time the rolling supporting device receives a high contact stress due to the insufficient strength of the base for supporting the surface nitride layer. Then, it is preferable to ensure the core part hardness of HRC 57 or more.

[0039]

Moreover, in the case where the nitriding process temperature is high, the sphericity, the diameter size variation, or the like are deteriorated drastically after the nitriding process so that troubles are generated in terms of the steel ball accuracy and the various functions. Therefore, the nitriding process temperature is preferably 450°C or less, and further preferably it is 420°C or less. Moreover, with a lower process temperature, the nitride layer becomes dense and a coarse porous layer cannot be produced. Therefore, the surface roughness after the wrap finish, the waviness, or the like tends to be improved. Specifically, the nitriding method mentioned as follows can be utilized preferably.

[0040]

In the case of the gas nitriding in general, with a low process temperature, the ammonia gas reactivity is lowered. Additionally, in the case of a steel containing a large amount of a Cr, since a dense Cr oxide layer is formed in the surface layer, this inhibits the nitriding so that an even nitride layer may not be formed. Moreover, in the case of the salt bath nitriding, since the salt bath melting point is basically high, lowering of the process temperature is limited.

[0041]

Then, as the nitriding process of the present invention, for example, a Nv nitriding process (product name of Daido Hokusai Corp.) can be used preferably. This process comprises a process of executing a fluoriding process at about 250 to 400°C using a fluorine based gas such as NF_3 (nitrogen trifluoride), or the like as the preprocess of the nitriding process, and a process of executing a nitriding process with a NH_3 gas.

[0042]

According to the fluoriding process, the Cr oxide layer inhibiting the nitriding reaction is eliminated so as to form an extremely thin fluoride layer on the surface layer so that the surface is extremely activated. Therefore, even in the case where the nitriding process thereafter is carried out at a low temperature of about 400°C, an extremely even nitride layer can be formed. As a

result, the nitride layer produced on the surface is extremely dense, and furthermore, the accuracy deterioration of the rolling element can be restrained after the nitriding process, and thus it is advantageous in that the finish process thereafter can be carried out relatively easily.

[0043]

The above-mentioned processes are merely an example. Even in the case of the salt bath nitriding, depending on the salt bath composition, the melting point thereof can be 420 to 430°C, and thus it may be a low temperature salt bath nitriding with about a 450 to 480°C process temperature. As a result, a nitride layer of a Hv 900 or more hardness is formed on the surface layer so that the quietness, the impact resistance, or the like are improved. Moreover, since minute nitrides such as $(\text{Fe, Cr})_{2-4}\text{N}$, CrN , Cr_2N , or the like are precipitated by a large amount in the nitride layer, the various endurances as mentioned above are dramatically improved. In order to have the natures more preferably, the nitride layer hardness is preferably Hv 1100 or more, and it is particularly preferably about Hv 1200 to 1400.

[0044]

Moreover, at the time the rolling supporting device receives an impact load, the sound deterioration may be generated due to generation of the impression formation in the outer member and the inner member. As a countermeasure therefor, it is effective to reduce the residual austenite as much as possible as mentioned above. However, in general, since the groove curvature of the outer member or the inner member of the rolling supporting device (the outer ring or the inner ring in the case of the rolling bearing) is designed to be slightly larger than the curvature of the rolling element, practically the rolling element can easily receive a higher contact stress. In the case of a rolling element with an extremely high hardness nitride layer applied on the surface, the nitride layer thickness becomes an important factor.

[0045]

The present inventors have discussed the nitride layer thickness in detail. In order to form

an even and stable nitride layer, a certain nitriding process time is required so that a thicker thickness may be preferable in some cases. Furthermore, in the case of a relatively large distortion speed, that is, in the case of receiving an impact load, the rigidity of the rolling element surface is increased with a larger nitride layer ratio in the stress volume, and consequently the impact resistance is improved. Therefore, the thickness of the nitride layer needs to be 1.5% or more of the rolling element diameter D_a , and it is more preferably 2.0% or more of the rolling element diameter D_a .

[0046]

However, with a thicker nitride layer thickness, even though the rolling element surface rigidity is increased, the impression formation may easily be generated in the outer member and the inner member such as the bearing ring instead, it is preferable to produce the outer member and the inner member out of a steel for a bearing having 1% or less of the residual austenite. A preferable embodiment of the outer member and the inner member will be described later in detail.

[0047]

Moreover, a nitride layer thicker than necessary leads to the prolongation of the nitriding process time so that the process cost and the manufacturing cost may be increased due to the sphericity deterioration after the nitriding process, furthermore, the required accuracy may not be satisfied due to the coarse surface texture, or the various characteristics may be lowered, and thus it is not preferable. Therefore, the nitride layer thickness needs to be 6% or less of the rolling element diameter D_a or 100 μm or less. In the case the rolling element diameter D_a is 1.667 mm or less, it is preferable to have the nitride layer thickness of 100 μm or less.

[0048]

Moreover, after having the nitriding process applied, the rolling element has the finish process to the target accuracy, specifically, to a high accuracy ball of the grade 10 or more mentioned in the JIS B 1501 (it includes the steel ball grade for a bearing for a swing arm).

Recently, according to a ball bearing used for an information appliance such as an HDD, in particular, a bearing for a spindle, a high accuracy ball having a higher accuracy is required. In this case, the 3 or more grade is preferable, and further preferably, the sphericity and the diameter size variation are 0.05 μm or less, and the surface roughness is 0.003 μm Ra or less.

[0049]

The thickness of the nitride layer on the surface of the rolling element complete product produced by the method mentioned above is extremely even so that in addition to the quietness, the fretting resistance, and the impact resistance, the sound durability at the time of the high speed rotation and the Bain characteristic (the sound deterioration by the time passage change of the waviness of the rolling element surface) are improved as well.

(As to the production method for the outer member and the inner member, and the complete product quality)

The steel as the constituent material for the outer member and the inner member is as mentioned above, and in addition to the SUJ2 mentioned in the JISG 4805, the SUJ3 and a steel for a high carbon bearing similar thereto, and a case hardening steel such as a SCR, and a SCM can be used.

[0050]

However, in order to prevent the sound deterioration by the impact load, it is preferable to reduce the residual austenite in the raceway surface as much as possible by the sub zero process or the mechanical hardening method such as shot peening, and furthermore, by a method such as tempering, or the like after quenching and hardening them. It is preferable that the residual austenite amount is 1% or less. Moreover, in order to endure the wear and the sheer stress, it is preferable that the hardness is HRC 58 or more.

[0051]

Moreover, by forming a carburization nitride layer on the raceway surface, the impression

formation on the bearing ring can hardly be generated so that the impact resistance can dramatically be improved. Therefore, it is preferable to define the complete product quality of the bearing ring as follows. The reason thereof and the critical significance concerning the form will be explained hereinafter. In general, in the case where the carburization nitriding process is applied to the outer member and the inner member, it is regarded important that the rolling life under the lubrication with the foreign substance introduced is ensured by containing a large amount of the residual austenite in the surface thereof. However, as mentioned above, the residual austenite is hazardous in a small size rolling bearing, or the like, which is required to have the quietness, and thus it is not preferable to let it remain. Therefore, according to the present invention, the residual austenite is provided by 1% or less by executing tempering at a temperature of about 250 to 320°C subsequent to the carburization nitriding quenching.

[0052]

However, in order to obtain a sufficient effect by the nitride layer, it is preferable to have the nitrogen concentration at a position of the 2% depth of the rolling element diameter D_a of the nitride layer by 0.1% by weight or more. More preferably it is 0.3% by weight or more. Moreover, rather than decomposing the residual austenite remaining after quenching directly by tempering, it is preferable to cause the induction transformation of the martensite so as to reduce the same as much as possible before executing tempering by the sub zero process or the mechanical hardening method such as shot peening and ball peening after quenching in order to obtain a higher impact resistance. Furthermore, it is preferable to have the hardness of the raceway surface of the outer member and the inner member by HRC 62 or more.

[0053]

The production method of the outer member and the inner member, and the complete product quality are same as the above-mentioned case of the rolling element. That is, a steel having a 3% by weight or more Cr content is used, a nitride layer having a Hv 900 or more

hardness is provided in the surface layer thereof, and the thickness of the nitride layer is either one of 1.5% or more and 6% or less of the rolling element diameter D_a or 1.5% of the rolling element diameter D_a or more and 100 μm or less. By providing a nitride layer on the raceway surface of the outer member and the inner member, the impression can hardly be generated in the outer member and the inner member so as to dramatically improve the impact resistance.

[0054]

Hereinafter, a specific production method will be described with reference to an example of a rolling bearing. First, a bearing ring processed into a desired shape by a machining process is hardened by executing quenching and tempering. In some cases, the sub zero process is carried out before tempering. In general, as to the bearing ring accuracy at this point, the roundness is several tens to 100 μm or more. By executing the above-mentioned nitriding process, the formed nitride layer is to be processed unevenly while grinding. Thereby, not only a desired nitride layer cannot remain but also the stress balance is deteriorated so as not to achieve the target accuracy, the grinding machining allowance is increased so as to require a long time for the grinding operation, or the like, and thus the problems are increased. Therefore, it is preferable to carry out the grinding process subsequent to the quenching hardening and carry out the grinding finish process to at least 1 μm or less roundness.

[0055]

Moreover, since expansion is caused according to the nitride layer thickness if the nitriding process is carried out, the bearing size at the time should be one with the expansion amount taken into consideration. Thereafter, it is provided for the same nitriding process as in the case of the above-mentioned rolling element. Since coarse particles of the oxide, the nitride, or the like, or the foreign substances adhere on the surface after the nitriding process, it is preferable to eliminate the same by barrel or the other mechanical methods.

[0056]

Moreover, according to the nitriding method of the present invention, even though the accuracy thereof cannot be lowered remarkably after the nitriding process, in consideration to the irregularity or the expansion amount, or the like, the accuracy, or the like, in particular, according to the rolling bearing for an information appliance, it is preferable to carry out the regrinding finish process (including the wrap finish process) after the nitriding process. In this case, it is preferable to have the railway surface coarseness by $0.1\ \mu\text{m}$ or less, and it is further preferably $0.05\ \mu\text{m}$ or less. The other qualities of the nitride layer are the same as the above-mentioned case of the rolling element.

[0057]

[Detailed Description of the Embodiments]

An embodiment of a rolling supporting device according to the present invention will be explained in detail with reference to the drawings. Fig. 2 is a cross-sectional view of a rolling bearing as an embodiment of a rolling supporting device according to the present invention. The rolling bearing comprises a plurality of rolling elements (balls) 3, an inner ring 1 disposed inward thereof, and an outer ring 2 disposed outward thereof such that the rolling elements 3 have the rolling guide while being maintained between the inner ring 1 and the outer ring 2. At the time, a rolling groove is provided in the inner ring 1 and the outer ring 2 for guiding the rolling elements 3 such that the rolling elements 3 are supported so as to be distributed equally by a supporting device 4 at the rolling groove. Moreover, a nitride layer N is provided in the surface of the rolling elements 3 by a method to be described later.

[0058]

According to such a rolling bearing, the bearing quietness and the all various endurance evaluations for the examples and the comparative examples were executed by the ball bearing 695 (JIS call number). As the rolling elements to be assembled in the bearings, those having a wrap process to the grade 3 or more were used. A plastic supporting device was used for the supporting

device, and an inner corrosion preventive oil and an ore based grease were used for the lubrication.

[0059]

The rolling elements of this embodiment were produced by the following method. As the rolling element material, the steels of the marks A-1 to A-4 having the component compositions disclosed in the table 1 were used.

[0060]

[Table 1]

[0061]

First, a material ball was produced using a 1.5 mm diameter line material by a header process and flashing, and then quenching, a sub zero process and tempering were applied thereto. Then, after carrying out a grinding process, ball peening was carried out. Subsequently, a finish process was executed to a 1.0 μm sphericity, and a nitriding process and a finish process (wrap finish) were applied. The nitriding process was executed by the Nv nitriding process by 410 to 440°C \times 24 to 48 hours. Fig. 3 is a schematic diagram of the rolling element production process. By the above-mentioned processes, a rolling element of the JIS grade G3 or more, the sphericity and the diameter size variation 0.05 μm or less, and the surface coarseness 0.003 μm Ra or less was obtained.

[0062]

The table 2 shows the complete product quality of the rolling element. The material marks are those shown in the table 1.

[0063]

[Table 2]

[0064]

The surface hardness in the table shows the result of the measurement of the rolling element surface by a 100 g load directly with a Vickers hardness meter. The core part hardness is

[Table 1]

Material mark	Carbon concentration (wt%)	Chromium concentration (wt%)	Carbon concentration upper limit (wt%)	Remark
A-1	1.00	1.5	1.34	SUJ2
A-2	1.07	17.2	0.55	SUS440C
A-3	0.8	8.0	1.01	
A-4	0.45	13.0	0.76	Nitrogen concentration 0.15wt%

1) The upper limit of the carbon concentration calculated by the following formula.

$$C\% = -0.05 \times Cr\% + 1.41$$

[Table 2]

Rolling element mark		Material mark	Surface hardness (Hv)	Nitride layer thickness Da ratio(%)	Core part hardness (HRC)
Example	B-1	A-3	1197	2.4	59.6
	B-2	A-3	1223	2.0	59.8
	B-3	A-4	1356	2.5	59.7
	B-4	A-4	1345	4.2	59.8
	B-5	A-4	1358	5.9	59.9
Comparative example	C-1	A-1	754	—	42.1
	C-2	A-2	1298	2.1	59.7
	C-3	A-3	1213	0.9	59.9
	C-4	A-4	1321	1.2	59.8

a value obtained by measuring the Vickers hardness by a 100 g load of the core part hardness of the cross-section obtained by enveloping a ball with a thermoplastic resin and polishing, and converting the same to the Rockwell C hardness. Moreover, the nitride layer thickness was obtained by polishing a rolling element enveloped by a thermoplastic resin to an appropriate cross-sectional diameter and etching with a marble reagent, measuring the rolling element cross-sectional diameter in the observed surface, and the nitride layer thickness clearly observed after the etching in the cross-sectional diameter with a microscope, and geographically calculating the true nitride layer thickness based on the measured diameter and nitride layer thickness. In the cross-sectional view of the rolling element of Fig. 4, a white layer shown in the rolling element surface portion is the nitride layer.

[0065]

Moreover, the rolling element accuracy of the present invention is a $0.05\text{ }\mu\text{m}$ or less sphericity, and a ball waviness of 40 npc or less M. B. (5 to 30 crests per the circumference) and 83 npc or less H. B. (30 to 160 crests per the circumference). In Fig. 4, which shows an example of a cross-sectional view of the rolling element of the present invention, it is confirmed that an extremely even and dense nitride layer is formed.

[0066]

On the other hand, the SUJ2 was used for the bearing ring, and either one of the following two kinds of the following heat treatments was applied. The residual austenite in the steel was decomposed and vanished substantially completely in both cases.

- (1) After quenching at 820 to 850°C, a sub zero process, and subsequently tempering at 220 to 240°C were applied (it is mentioned as "SUJ2" in the column of the bearing ring in the table 3).
- (2) After carburization nitriding quenching at 820 to 850°C, a sub zero process, and subsequently tempering at 260 to 280°C were applied (it is mentioned as "SUJ2 + carburization nitriding" in the column of the bearing ring in the table 3).

[0067]

The raceway surface hardness of the bearing ring was HRC 59.5 in the case of (1), and it was HRC 62.5 in the case of (2). Moreover, as a result of the cross-section nitrogen concentration distribution measurement by the EPMA in (2), the nitrogen concentration in the 2% Da depth was 0.34% by weight. For the specimen ball bearings produced as a combination of the rolling elements and the bearing rings, the sound endurance, the fretting endurance, the impact resistance, or the like were evaluated.

[0068]

First, the initial sound evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) at the time of operating the specimen ball bearings by the preliminary pressure of 11.8 N, and the rotational frequency of 1,800 rpm, and thereafter they were provided for the various kinds of the evaluation tests. The table 3 shows the evaluation results.

[0069]

[Table 3]

[0070]

The sound endurance evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) again after the rotation operation by the preliminary pressure of 11.8 N, the rotational frequency of 7,200 rpm at a 70°C temperature for 1,000 hours so as to find the sound deterioration amount from the initial value, and it is shown by the ratio based on the case where the comparative example E-5 of the total SUJ2 is 1. Therefore, a smaller numerical value in the table 3 shows a superior sound endurance.

[0071]

The fretting endurance evaluation was carried out by executing a swaying test by the below-mentioned conditions so as to find the sound deterioration amount from the initial value, and it is shown by the ratio based on the case where the comparative example E-5 of the total SUJ2 is 1.

[Table 3]

Rolling bearing mark	Rolling element mark	Bearing ring	Fretting endurance	Sound endurance	Impact resistance dropping property
Example	D-1	B-1	SUJ2	0.31	0.21
	D-2	B-2	SUJ2	0.28	0.23
	D-3	B-3	SUJ2	0.24	0.16
	D-4	B-4	SUJ2	0.22	0.15
	D-5	B-5	SUJ2	0.23	0.16
	D-6	B-1	SUJ2+Carburization nitriding	0.23	0.18
	D-7	B-2	SUJ2+Carburization nitriding	0.20	0.18
	D-8	B-3	SUJ2+Carburization nitriding	0.12	0.14
	D-9	B-4	SUJ2+Carburization nitriding	0.11	0.13
	D-10	B-5	SUJ2+Carburization nitriding	0.12	0.13
Comparative example	E-1	C-1	SUJ2	1.38	1.19
	E-2	C-2	SUJ2	0.69	0.45
	E-3	C-3	SUJ2	0.31	0.23
	E-4	C-4	SUJ2	0.24	0.16
	E-5	SUJ2	SUJ2	1.00	1.00
	E-6	Si3N4	SUJ2	0.24	0.19

Therefore, as in the case of the sound endurance evaluation result, a smaller numerical value in the table 3 shows a superior sound endurance. The impact resistance evaluation was carried out by dropping the ball bearings in a state with a 11.8 N preliminary pressure applied from the various heights in the axial direction (30 cm to 1 m) so as to measure the G value rise amount with respect to the state before the test. The bearings have the outer ring rotation, and the total weight including the hub of 35 g so that the acceleration degree at the time of dropping was measured by the acceleration degree pick up attached on the hub. The acceleration degree with the G value increased by 5 mG with respect to the state before the test was calculated, and it is shown by the ratio based on the case where the comparative example E-5 of the total SUJ2 is 1. Therefore, a larger numerical value in the table 3 shows a superior impact resistance.

[0072]

From the table 3, it is learned that the present invention is superior to the comparative examples totally in terms of the sound endurance, the fretting resistance and the impact resistance. The fretting resistance and the sound endurance are the substantially same as or higher than those of the comparative example E-6 using a ceramic ball. As to the impact resistance, it is dramatically improved than that. It is the same as or higher than that of the comparative example E-5 using a rolling element made of the SUJ2. In particular, the effect is remarkable in those having the carburization nitriding for the bearing ring (examples D-5 to D-10).

[0073]

On the other hand, in the comparative example E-1 as an example of the case of having the nitriding process to the rolling element surface made of the SUJ2, a sufficient surface hardness is not obtained due to a small Cr content so that the fretting endurance and the sound endurance are poor. Moreover, in the comparative example E-2 as an example of the case of having the nitriding process to the rolling element surface made of the SUS 440C, the surface accuracy can hardly be obtained due to the presence of a coarse eutectic carbide so that the endurance is slightly poorer

than the examples of the present invention.

[0074]

Moreover, in the comparative examples E-3 and E-4 as examples of the case with the nitride layer thickness less than 1.5% of the rolling element diameter D_a , the sound deterioration derived from the rolling element damage was observed in the dropping impact test. As heretofore described, the rolling bearings of this embodiment can prevent the sound deterioration at the time of impact dropping, which has been the problem peculiar to a hybrid bearing using a ceramic ball, and they have the improved fretting endurance and sound endurance to the degree the same as or higher than the hybrid bearing. Additionally, they have the following advantages.

[0075]

According to the configuration of the comparative example E-6 using a ceramic ball, the specific resistance of a silicon nitride (Si_3N_4) ceramic is as large as 10^{13} to $10^{14} \Omega\cdot\text{cm}$ so that the foreign substances can easily be attracted by the electrostatic function, and thus the dust sound failure or the conveyance trouble can easily be generated in the production process. Furthermore, since the silicon nitride ceramic has an extremely small linear expansion coefficient ($2.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) as well, the preliminary pressure may be changed by the temperature change so as to generate the torque fluctuation, or in an extreme case, the phenomenon of completely losing the preliminary pressure can be generated.

[0076]

According to this embodiment, since a steel is utilized basically, it has a specific resistance to $10^5 \Omega\cdot\text{cm}$, and thus is not so different from the SUJ2 in terms of the order. Furthermore, the linear expansion coefficient is only lowered slightly ($10.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ in the case of A-4 in the table 1) compared with the SUJ2 ($12.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). As the housing material for a bearing, a ferritic stainless steel ($10.4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) is used in many cases. In this case, the preliminary pressure load change amount at 0 to 70°C is 0.98 N, and thus it is rather advantageous compared with 2.94 N of

the all SUJ2. Since the value is 11.8 N in the case of a silicon nitride ceramic, if the initial preliminary pressure at 20°C is about 7.84 N, it results in the complete losing of the preliminary pressure at 70°C.

[0077]

Fig. 5 shows the relationship between the rolling element diameter Da ratio of the nitride layer thickness formed on the rolling element surface and the impact resistance in the dropping impact test. As it is learned from Fig. 5, in the case where the ratio is 1.5% or less, there is no difference between those having the bearing ring of the SUJ2 and those having the bearing ring having the carburization nitriding of the SUJ2. That is, in the case where the ratio of the nitride layer thickness with respect to the rolling element diameter Da is 1.5%, it is considered that the sound deterioration derived from the rolling element is generated at the time of the dropping impact.

[0078]

If it is 1.5% or more, the rolling element rigidity is increased so as to improve the impact resistance. Furthermore, a difference is observed between those having the bearing ring of the SUJ2 and those having the carburization nitriding of the SUJ2. That is, without the ratio of the nitride layer thickness in the rolling element surface with respect to the rolling element diameter Da of 1.5% or more, the sound deterioration at the time of the dropping impact cannot be prevented truly. In particular, in the case where the ratio of the nitride layer thickness with respect to the rolling element diameter Da is more than 2%, the effect is high. Moreover, in the case where the bearing ring has the carburization nitriding, the improvement effect is further high. It is considered that the introduction type elements such as a carbon and a nitrogen as the solid solution in the martensite form the atmosphere of fixing the rearrangement, and furthermore, the carbide or carbon nitride precipitated at the time of tempering has the function of restraining the rearrangement interlocking.

[0079]

However, if the tempering temperature is too high, the carbon and the nitrogen as the solid solution are precipitated further as a carbide or a carbon nitride by the tempering function. Furthermore, due to gradual aggregation thereof, the function of fixing the rearrangement is made smaller. Furthermore, since the carbide and the carbon nitride precipitated in the tempering process aggregate with each other, the rearrangement pinning effect is made smaller as well. That is, since the rearrangement reinforcing mechanism is alleviated, the impact resistance is lowered. Therefore, the tempering temperature is most preferably at the temperature of decomposing the residual austenite substantially completely, and it is not preferable to have it higher than necessary. The preferable tempering temperature is 250 to 320°C.

[0080]

It is considered that a preferable result can be obtained by executing the carburization nitriding process because the carbon nitride functions further effectively for pinning the rearrangement in addition to the rearrangement fixation by the solid solution nitrogen. As a result of the discussion of the present inventors in detail, the effect was extremely small unless the nitrogen concentration at the 2% depth of the rolling element diameter D_a in the bearing ring (it is slightly larger than that in the outermost surface) of at least 0.1% by weight or more is ensured. More preferably, the nitrogen concentration at the 2% depth of the rolling element diameter D_a is at least 0.3% by weight or more.

[0081]

Next, a result of the various endurance evaluations of a rolling element as another embodiment of the rolling supporting device according to the present invention will be explained. The all rolling bearings used were a ball bearing produced by NSK Ltd. having the size and shape of 6.350 mm inner diameter, 9.525 mm outer diameter and 3.175 mm width. As the rolling element to be assembled in the rolling bearings, those having a 1.0 mm diameter D_a corresponding

to the grade5, as a supporting device, a plastic supporting device, and for the lubrication, an internal corrosion preventive oil and an ore based grease were used.

[0082]

moreover, as the steel as the material, those shown below (steels A, B, C) and a high carbon chromium bearing steel SUJ2 were used. Then, the residual austenite amount in the steels were made to be 4% or less as well as a desired nitride layer was formed on the surface layer of the rolling elements and the bearing rings. Furthermore, as the comparative examples, the cases without satisfying the conditions of the nitride layer thickness of the present invention were evaluated as well.

[0083]

Steel A: C content 0.60% by weight, Cr content 13% by weight, N content 0.15% by weight

Steel B: C content 0.80% by weight, Cr content 8.0%

Steel C: C content 0.80% by weight, Cr content 4.0%

[0084]

[Table 4]

[0085]

The table 4 shows the complete product qualities of the rolling elements and the bearing rings and the endurance evaluation results of the rolling bearings using the same. The surface hardness in the table is the measurement results of the rolling element surface and the bearing ring end face surface by a 100 g load directly with a Vickers hardness meter. Moreover, as to the rolling element, the nitride layer thickness was obtained by polishing a rolling element enveloped by a thermoplastic resin to an appropriate cross-sectional diameter and etching with a marble reagent, measuring the rolling element cross-sectional diameter in the observed surface, and the nitride layer thickness clearly observed after the etching in the cross-sectional diameter with a microscope, and geographically calculating based on the measured diameter and nitride layer

[Table 4]

Example/Comparative example	No.	Rolling element		Bearing ring		Sound endurance	Fretting endurance	Impact resistance	High temperature still storage endurance	Corrosion resistance
		Kind of steel	Surface hardness (Hv, 100g)	Nitride layer thickness Da ratio (%)	Kind of steel	Surface hardness (Hv, 100g)	Nitride layer thickness Da ratio (%)			
Example	F-1	A	1310	1.8 A	—	1285	1.7	0.1 or less	1.82	○
	F-2	A	1305	2.5 A	—	1285	2.1	0.1 or less	2.0 or more	○
	F-3	A	1345	7.5 A	—	1291	7.0	0.1 or less	2.0 or more	○
	F-4	A	1340	10.0 A	—	1305	9.8	0.1 or less	2.0 or more	○
	F-5	B	1265	7.8 B	—	1255	7.1	0.1 or less	2.0 or more	△
Comparative example	F-6	C	1145	7.7 C	—	1123	7.3	0.1 or less	1.00	×
	G-1	SUJ2	864	—	SUJ2	694	—	1.00	1.00	×
	G-2	A	812	—	A	732	—	0.72	0.73	×
	G-3	A	1345	7.5 SUJ2	—	694	—	0.21	1.22	×
	G-4	SUJ2	864	—	A	1291	7.0	0.46	1.56	×
	G-5	A	1289	1.3 A	—	1286	1.2	0.1 or less	0.91	○

thickness.

[0086]

Moreover, as to the bearing ring, the cross-sectional surface of the bearing ring enveloped with a thermoplastic resin was etched with a marble reagent and the nitride layer thickness was measured directly. Here, the all layers influenced by the nitriding after the etching were regarded as a nitride layer. Moreover, in order to have the true nitride layer thickness values obtained by the measurement, the measurement values were corrected to the nitride layer thickness in the cross-section on the center (the cross-section to have the maximum cross-sectional area) in the case of the rolling element, and to the nitride layer in the cross-section including the axial line in the case of the bearing ring.

[0087]

As to the endurance evaluation for the rolling bearing, the sound endurance, the fretting endurance, the impact resistance, the high temperature storage endurance, the corrosion resistance, or the like were evaluated. First, the initial sound evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) at the time of operating the ball bearings by a 4.9 N preliminary pressure and a 1,800 rpm rotational frequency and it was supplied to the various kinds of the evaluation tests.

[0088]

The sound endurance evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) again after the rotation operation by a 4.9 N preliminary pressure and a 15,000 rpm rotational frequency at a 70°C temperature for finding the sound deterioration amount from the initial value. Then, it is shown by the ratio based on the case where the comparative example G-1 of the total (the rolling element and the bearing ring) SUJ2 is 1. Therefore, a smaller numerical value in the table shows a superior sound endurance.

[0089]

The fretting endurance evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) again after executing a 10,000,000 times rotation test at an ordinary temperature with a 4.9 N preliminary pressure, a 8 deg sway angle and a 30 Hz sway frequency, and finding the G value rise amount with respect to the state before the test. Then, it is shown by the ratio based on the case where the comparative example G-1 of the total SUJ2 is 1. Therefore, as in the case of the sound endurance evaluation, a smaller numerical value in the table shows a superior fretting endurance.

[0090]

The impact resistance evaluation was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) again after applying the axial load to 294 N while increasing by 9.8 N each time and removing the load, and finding the G value rise amount with respect to the state before the test. Then, the axial load increased by 5 mG was provided as the impact resistance load. Then, it is shown by the ratio based on the case where the comparative example G-1 of the total SUJ2 is 1. Therefore, a larger numerical value in the table shows a superior impact resistance.

[0091]

The high temperature still storage endurance was carried out by measuring the axial vibration acceleration degree (G value) again after applying a 4.9 N preliminary pressure and storing at 110°C for 155 hours, and finding the G value rise amount with respect to the state before the test. Then, those having the increase of 5 mG or more are evaluated to be poor and represented by the X mark in the table, and those having the increase of 5 mG or less are evaluated to be good and represented by the O mark. As to the corrosion resistance evaluation, a 2 week wet test was carried out under the 70°C, 95% RH condition, and it was evaluated by whether or not the corrosion was generated. In the table, those not having the corrosion generation are represented by the O mark, those having the remarkable corrosion generation are represented by the X mark, and those having the corrosion generation but apparently better than the comparative

example G-1 are represented by the Δ mark.

[0092]

From the table 4, it is learned that the rolling bearings of this embodiment (F-1 to F-6) are better than the comparative examples in the all evaluation tests. The thickness of the nitride layer of the rolling bearings are 10% of the rolling element diameter Da (1.0 mm) or less, that is, 100 μ m or less. On the other hand, the comparative example G-1 as an example with all the inner ring, the outer ring and the rolling elements of the SUJ2, is poorer than the embodiment in all the items. Moreover, the comparative example G-2 as an example with all the inner ring, the outer ring and the rolling elements using a steel A as a martensite based stainless steel without the nitriding process, is poorer than the embodiment in all the items except the corrosion resistance.

[0093]

Moreover, the comparative examples G-3 and G-4 as examples using a steel A with the nitriding process for either of the bearing rings (inner ring, outer ring) and the rolling elements do not have the high temperature still storage endurance because not all the constituent parts (the bearing rings and the rolling elements) satisfy the configuration conditions (the steel composition, presence or absence of the nitride layer and the thickness) of the present invention. Fig. 6 is an example of a chart of the frequency analysis (envelope analysis) of the results of the sound measurement after the high temperature still storage endurance test of the rolling bearing of the comparative example G-1. As it is apparent from Fig. 6, in the case of the long term storage at 110°C, the sound deterioration factors (presence of the Brinell trace) can be observed in all the rolling elements, the outer ring and the inner ring. Therefore, it denotes that the sound endurance cannot be improved unless all the constituent parts of the rolling bearing satisfy the configuration conditions of the present invention so that a countermeasure should be taken with respect to the ambient temperature of the rolling supporting device such as the rolling bearing in an appliance to have the rolling supporting device such as the rolling bearing assembled.

[0094]

Moreover, the comparative example G-5 as an example of the case with all the inner ring, the outer ring and the rolling elements satisfying the conditions of the present invention except the nitride layer thickness, cannot improve the impact resistance due to the insufficiency of the nitride layer thickness. Furthermore, as it is apparent from the table 4, the rolling bearing of the above-mentioned embodiment has the sound endurance with respect to the 15,000 rpm high speed rotation, and thus it is considered to be sufficiently compatible to the above-mentioned high performance of the appliance.

[0095]

Furthermore, since the rolling bearing of the above-mentioned embodiment has the better corrosion resistance than the conventional rolling bearing of the SUJ2, it can be used also in the case where the absolute dry specification is required, for example, to a bearing for a swing arm. This embodiment is an example of the present invention, and thus the present invention is not limited by this embodiment. For example, although an example of a rolling bearing has been explained as the rolling supporting device in this embodiment, the rolling supporting device of the present invention can be adopted to the various rolling supporting devices of the other kinds. For example, they are a ball screw, a linear guide, or the like.

[0096]

[Effects of the Invention]

As heretofore explained, since the rolling supporting device according to the present invention is provided such that an extremely hard and dense nitride layer is provided in at least the surface layer of the rolling elements by the most appropriate thickness, compared with a common rolling supporting device, not only the quietness, but also the fretting endurance, the sound endurance and the impact resistance are excellent.

[0097]

Furthermore, as to the high speed endurance and the endurance with respect to the high temperature still storage to be lowered according to the high performance of the appliance with the rolling supporting device assembled, it is excellent. Moreover, according to the rolling supporting device according to the present invention, the problems of the impact resistance, the preliminary pressure failure, the sound failure described from the dust attraction by the electrostatic function, or the like, which are regarded to be problematic in the hybrid bearing utilizing a ceramic ball can be solved. And furthermore, the significant effect of providing the same at a low cost can be obtained.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] is an explanatory diagram of a fretting wear trace in the rolling element surface.

[Fig. 2] is a vertical cross-sectional view of a rolling bearing as an embodiment of the rolling supporting device of the present invention.

[Fig. 3] is a schematic explanatory diagram of a production process for a rolling element of the present invention.

[Fig. 4] is a cross-sectional view of a rolling element of the embodiment of the present invention.

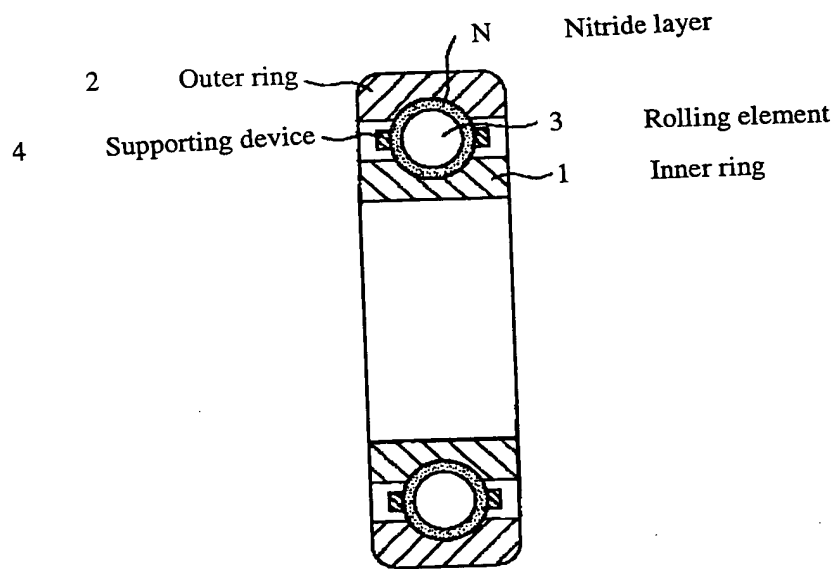
[Fig. 5] is an explanatory diagram showing the relationship between the nitride layer thickness of the rolling element and the impact resistance.

[Fig. 6] is a chart showing the sound measurement results of the rolling bearing.

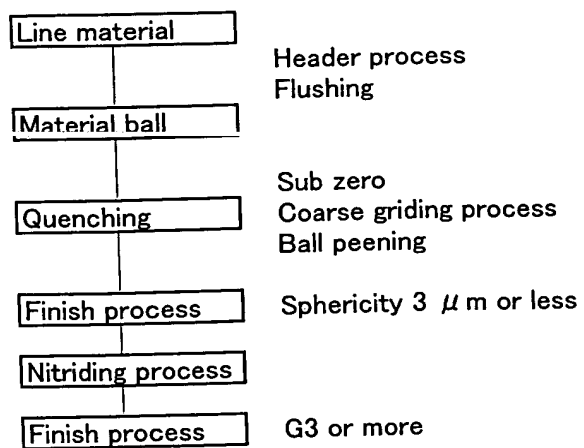
[Description of the Reference Numerals]

- 1 Inner ring
- 2 Outer ring
- 3 Rolling element
- N Nitride layer

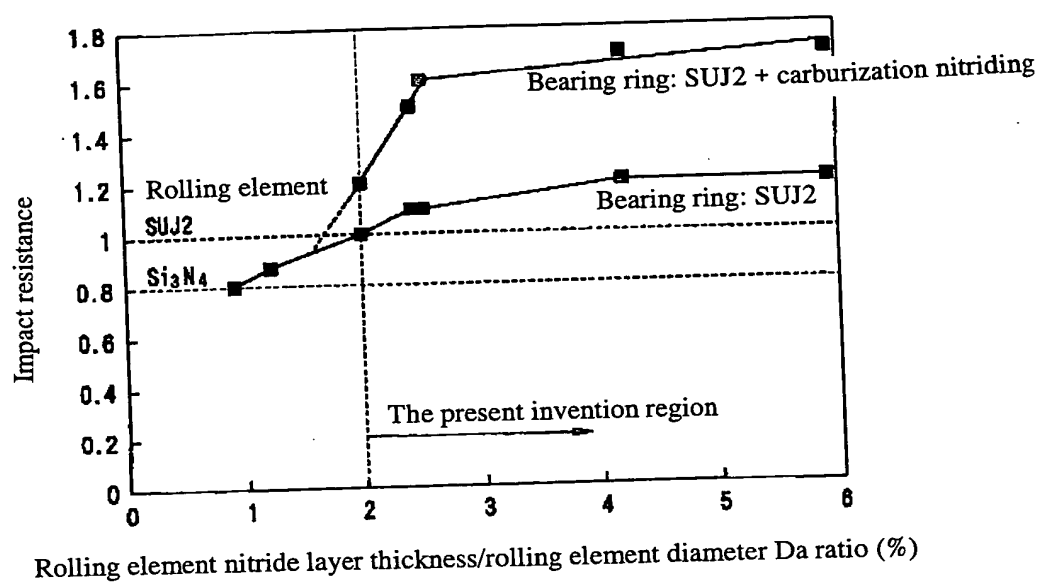
[Fig. 2]



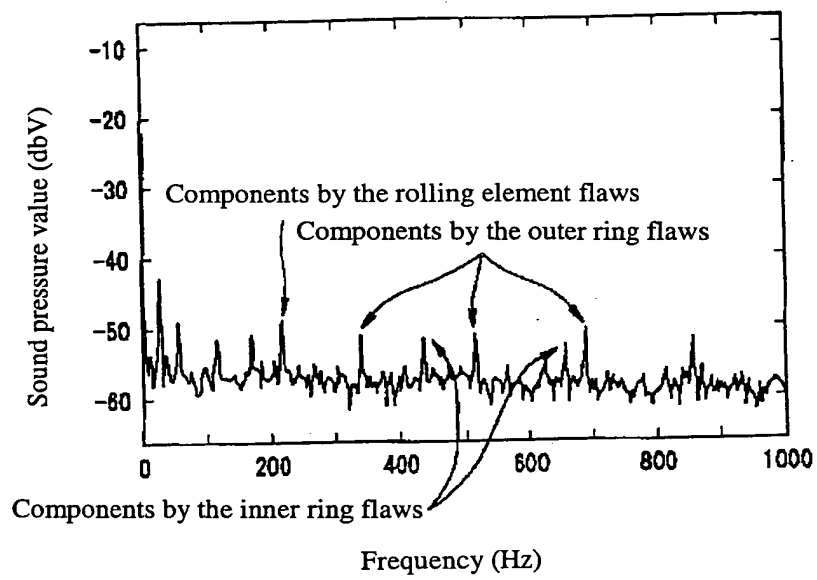
[Fig. 3]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-323932
(P2001-323932A)

(43) 公開日 平成13年11月22日 (2001. 11. 22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト [*] (参考)
F 1 6 C 33/32		F 1 6 C 33/32	3 J 1 0 1
C 2 1 D 9/40		C 2 1 D 9/40	Z 4 K 0 4 2
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 L
			3 0 1 N
	3 0 2		3 0 2 Z
審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-228426 (P2000-228426)
(22) 出願日 平成12年7月28日 (2000. 7. 28)
(31) 優先権主張番号 特願2000-61247 (P2000-61247)
(32) 優先日 平成12年3月6日 (2000. 3. 6)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎1丁目6番3号
(72) 発明者 田中 進
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内
(72) 発明者 大堀 學
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内
(74) 代理人 100066980
弁理士 森 哲也 (外2名)

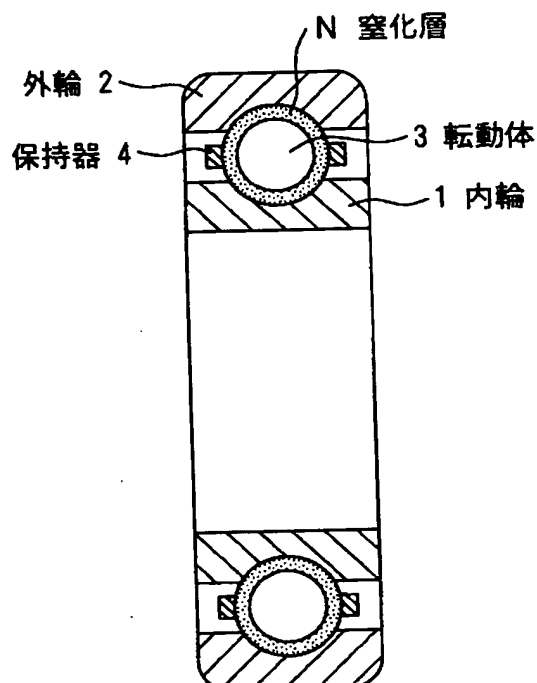
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり支持装置

(57) 【要約】

【課題】 振動、衝撃荷重あるいは高速連続運転、高温静置に対する耐久性に優れた転がり支持装置を提供する。

【解決手段】 外輪2と、内輪1と、外輪2と内輪1との間に転動自在に配設された複数の転動体3と、を備えた転がり軸受において、C r の含有量が3重量%以上である鋼で転動体3を構成するとともに、その表面層に硬さがH v 9 0 0 以上の窒化層を設けた。そして、前記窒化層の厚さを、転動体直径D a の1. 5 %以上6 %以下とした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外方部材と、内方部材と、前記外方部材と前記内方部材との間に転動自在に配設された複数の転動体と、を備えた転がり支持装置において、前記外方部材、前記内方部材、及び前記転動体のうち少なくとも前記転動体を、Crの含有量が3重量%以上である鋼で構成するとともに、その表面層に硬さがHv900以上の窒化層を設け、前記窒化層の厚さを、転動体直径Daの1.5%以上6%以下及び転動体直径Daの1.5%以上100 μ m以下のいずれか一方としたことを特徴とする転がり支持装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、転がり軸受、リニアガイド、ボールねじ等の転がり支持装置に係り、特に、ハードディスクドライブ装置（以降はHDDと記す）、ビデオテープレコーダ（以降はVTRと記す）、デジタルオーディオテープレコーダ（DAT）等の情報機器、あるいは、ファンモータ、クリーナモータ、車両のターボチャージャー等の静粛性が要求される機器に組み込まれて、スピンドルのような回転部分や、HDD等の構成部品の一部であるスイングアームのような揺動運動部分を支承するのに好適な転がり支持装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、転がり軸受、リニアガイド、ボールねじ等の転がり支持装置においては、該転がり支持装置を構成する外方部材、内方部材と転動体との間で転がり運動が行われ、前記外方部材、前記内方部材、及び前記転動体が繰り返し接触応力を受ける。そのため、これらの部材を構成する材料には、硬い、負荷に耐える、転がり疲労寿命が長い、滑りに対する耐摩耗性が良好である等の性質が要求される。

【0003】そこで、一般的には、これらの部材を構成する材料には、軸受鋼としては日本工業規格のSUJ2、ステンレス鋼としては日本工業規格のSUS440C又は13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼、そして肌焼鋼としては日本工業規格のSCR420相当の鋼を焼入れあるいは浸炭又は浸炭窒化処理したもの等がよく使用されている。そして、これらの材料は、転がり疲労寿命等の必要とされる物性を得るために、焼入れ、焼戻しが施されて、硬さをHRC58～64としたものが使用されている。

【0004】上記のような転がり支持装置のうち、特にHDDやVTR等の情報機器あるいはファンモータ等を使用される玉軸受にあつては、トルク、音響、騒音の低減に対する要求が非常に厳しいため、極めて高精度に仕上げ加工されている。例えば、HDDに使用されるスピンドルのような回転部分を支承する極めて高い静粛性が要求される転がり軸受（以降は、スピンドル用軸受と記

す）には、高炭素クロム軸受鋼であるSUJ2が使用されることが多い。

【0005】また、スイングアームのような揺動運動部分を支承する転がり軸受（以降は、スイングアーム用軸受と記す）には、絶乾仕様が要求されることが多いこともあつて、マルテンサイト系ステンレス鋼であるSUS440Cや0.7C-13Crステンレス鋼あるいはこれに類似のステンレス鋼がそれぞれ使用されることが多い。

【0006】そして、これらの材料には、硬さ、耐摩耗性等の必要とされる物性を得るために、焼入れ、焼戻しが施されて、軌道輪の硬さはHRC58～64とされている。また、転動体は、特殊な場合を除き、基本的には軌道輪あるいは外輪、内輪のいずれか一方と同一の材料で構成されることが多い。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、近年、機器の小型化による可搬性が高まったことで、上記のような転がり支持装置において種々の問題が浮き彫りになってきている。すなわち、機器の小型化に伴って、搬送中の落下や輸送中に振動に曝される機会が増えたことで、機器に組み込まれた転がり支持装置が僅かではあるが損傷を受け、機器の性能を劣化させる原因となり得ることが最近の研究で明らかになってきたのである。

【0008】つまり、機器に衝撃荷重が加えられた場合、特に小型の玉軸受等においては接触槽が小さいこともあつて、比較的小さな衝撃荷重でも軌道面が永久変形し、音響劣化や回転トルクむらの発生等が生じ、玉軸受等を組み込んだ機器の性能が劣化するのである。この問題は、特開平7-103241号公報に記載されているように、鋼中に内在する残留オーステナイト等の軟質相の降伏応力が低いために発生すると考えられており、玉軸受に必要な硬さを保持しながら、且つ残留オーステナイトを低減化するために、SUJ2であれば、焼入れ後、サブゼロ処理するか、あるいは220～240℃程度の比較的高い温度で焼戻しするなどして、可能な限り残留オーステナイトを低減させるか若しくは完全に消失させて、衝撃荷重による音響劣化等を防止するような対策が施されている。

【0009】しかし、近年、機器の可搬性が高まったことによって振動に曝される機会が増え、その結果、転がり支持装置の転動体と内方部材あるいは外方部材との接触面において、微小な振動や揺動によるフレッチングが発生し音響が劣化するという問題が浮き彫りになってきた。上記公報に記載の発明は、衝撃荷重による音響劣化に主眼を置いたものであり、機器の振動や動作等で生じるフレッチングに対しては、まったく考慮されていない。また、実際問題として、HDDやVTR等の情報機器やその他静粛性が求められる機器に使用される比較的小型の転がり支持装置においては、潤滑面での対策がな

されているだけで、材料面ではこれといった対策は施されていないかった。

【0010】このフレッチングという問題に対して、最近では、窒化珪素等のセラミックスボールの適用の可否が検討されている。セラミックスボールは摺動性が良好であることに加えて非常に硬度も高いため、極めて損傷を受け難い。よって、転動体をセラミックスボールにすることで、凝着摩耗が抑制されて、フレッチング耐久性に関しては鋼球に比較して格段に向上する。さらに、転動体にセラミックスボールを使用すると、高速連続運転後の音響耐久性も非常に優れている。

【0011】しかしながら、セラミックスボールは鋼球と比較してコストが非常に高い。しかも、一般に弾性係数が鋼と比較して著しく大きいため、鋼球と比較して大きな接触面圧を受けることとなり、そのため衝撃荷重によって軌道輪の方に圧痕形成が起こり易い。したがって、鋼球と比較して音響劣化が生じやすいという問題点を有している。

【0012】また、線膨張係数が鋼球に比べて著しく小さいため、機器が動作した際の温度上昇により与圧抜けが生じて剛性が低下するといった問題点も有している。さらに、セラミックスは一般に絶縁体であるため、静電気作用により異物が吸引されてゴミ音による不良率が大きくなったり、さらに、極めて比重が小さいということもあって、静電作用により組立工程で搬送トラブルが生じ易いという問題も有しているなど、必ずしもこれら情報機器やその他静粛性が要求される機器の性能を満足できるものではない。

【0013】さらに、転がり支持装置においては、近年の益々の高性能化（例えば、スピンドル用軸受においては回転速度の高速化）に伴う問題点も、新たに浮上してきている。以下に、転がり支持装置が転がり軸受である場合を例に、この問題点について説明する。例えば、HDDの場合にあっては、装置の小型化に加えて、スピンドルの回転数が近年さらに高速化してきており、これに用いられる転がり軸受においてもより高い耐衝撃性、高速耐久性が求められるようになってきている。

【0014】また、磁気ヘッドを搭載したスイングアームにおいても、高速シーク特性を確保するために、よりパワーの高いボイスコイルモーターが使用されるようになってきており、そのため転がり軸受の周囲温度が益々高くなる傾向にある。その結果、転がり軸受が停止状態で長時間高温に保持された場合（以降は、高温静置と記す）は、転動体と軌道輪との接触面においてブリネル痕が形成されて、音響劣化が生じるという問題が顕在化してきていて、さらに高温静置に対する耐久性が求められるようになってきている。

【0015】この高温静置によるブリネル痕の形成は、残留オーステナイトが接触部位において分解促進されることにより発生するものと考えられている。よって、前

述の衝撃荷重の劣化を防止する場合と同様に、S U J 2であれば、焼入れ後にサブゼロ処理するか、あるいは220～240℃程度の比較的高い温度で焼戻しするなどして、可能な限り残留オーステナイトを低減化もしくは完全に消失させて、従来より高温静置による音響劣化を防止するような対策が施されている。

【0016】しかしながら、このような対策による効果は、現状の転がり軸受にあっては、70～80℃程度の温度で長時間保持された場合の音響劣化を防止できるレベルであって、それより高い温度における高温静置に対しては、必ずしも十分な効果がない場合がある。今後さらにHDDの高性能化が進むと、100℃を超えるような温度での高温静置に対しても耐久性を有する転がり軸受が必要となってくると考えられ、さらなる対策が必要となってきている。

【0017】本発明は、上記のような従来の転がり支持装置の有する問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、第一に、前記転がり支装置が組み込まれた機器の可搬性が高まったことに伴う振動や衝撃荷重による前記転がり支持装置の性能劣化を効果的に防止することにあり、第二に、前記機器の高性能化に伴って低下する前記転がり支持装置の種々の耐久性（耐衝撃性、高速耐久性、高温静置に対する耐久性）を改良することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、まず、機器の微小振動や揺動による音響劣化の要因を詳細に調査し、その主原因が転動体の損傷によるものであることを突き止めた。すなわち、S U J 2等の一般軸受鋼からなる従来の転動体は、図1に示すように、内輪、外輪との接触部において振動や揺動による著しいフレッチング摩耗痕（図1の横縞模様）が生じ、転動体精度が著しく劣化することによって音響劣化を招くのである。

【0019】そこで、HDDやVTR等を使用される極めて静粛性が要求される玉軸受等の転がり支持装置に関し、基本的には鋼の特性をそのまま利用し、転がり支持装置の表面に適当な改質層を形成させることによって転がり支持装置の性能を飛躍的に高めることができないか、検討を重ねた。表面改質法には、蒸着やめっきなどがあるが、これらにより得た改質被膜は、摺動性には優れるものの、複雑形状部品の表面に均一な改質層を形成させることは非常に困難である。さらに、高い剪断応力を受ける転動部材としては、母材と被膜との界面強度が不足して、容易に被膜が剥離したり脱落したりする可能性があり、信頼性に欠けるという問題があり、好ましくない。

【0020】そこで本発明者らは、鋼製部品の表面改質法の一つである窒化処理の適用可否を検討した。窒化処理には、塩浴窒化、ガス窒化、イオン窒化処理などがあり、摺動性の要求される機械部品の表面処理法として古

くから利用されている。一般に、所望の形状に加工された製品を500～600℃程度の温度に保持し、表面から窒素を拡散浸透させ硬化させる方法である。

【0021】こうして表面に形成された窒化層は、デボジットした改質層とは異なり拡散浸透させたものであるため、より高い界面強度を有するものと考えられる。しかし、高い剪断応力を受ける転動部品の場合は、窒化層よりもより深いところで大きな剪断応力を受けるため、その適用は容易ではない。こうした理由から、これまで、基本的には各種機械部品の摺動性を付与することを目的に実施されているにすぎない。

【0022】転がり軸受やその他転動部品への窒化処理の具体的な適用例としては、特開平6-341442号公報、特開平10-131970号公報などがある。特開平6-341442号公報では、機械部品の少なくとも一つを塩浴窒化して、その表面に硬さがHv654～Hv830で、厚さが5～20μmの化合物層を形成することにより、耐食性に優れ、洗濯機用のローラークラッチに好適に使用できる転がり軸受を提案している。

【0023】また、特開平10-131970号公報では、前記特開平6-341442号公報と同様に、一般軸受鋼からなる構成部品の少なくとも一つに窒化処理を施し、耐食性改善を図るとともに、さらに表面層における窒化物の平均粒子径を1μm以下に限定することによって耐焼付性を向上させ、自動車のエンジンのウォーターポンプ等の補機に好適に使用できる転がり軸受を提案している。

【0024】しかし、これらは耐食性や耐焼付性に主眼を置いたものであり、転がり軸受において必要不可欠である剪断応力に対する心部硬度などの考慮がほとんどなされていないうえ、HDD等の情報機器用玉軸受に特有の問題点及びその解決方法にも触れられていない。したがって、情報機器用玉軸受として適用するには極めて不十分な内容となっている。

【0025】特に、特開平10-131970号公報にあっては、窒化層の深さに関する言及がなく、表面に關しても窒化処理したままの、所謂研削仕上げが施されていないものと推察されることから、静粛性の要求される情報機器用の玉軸受としては到底使用できない。さらに、特開平5-179401号公報には、Crを3重量%以上含有する所定の鋼に窒化処理を行なうことにより、Hv1000程度の硬い窒化層を形成し、異物による傷が付きにくいものとし、異物が混入する場合の転動疲労寿命を改善する提案がなされている。しかし、この発明も、前記発明と同様に、情報機器用の玉軸受に特有の問題点、すなわち静粛性、フレッチング、衝撃荷重による音響劣化、あるいは予圧抜け等の問題点及びその解決方法には一切触れられていない。

【0026】そこで、本発明者らは、窒化処理技術を転がり軸受等の転がり支持装置の転動体に応用し、セラミ

ックスボールを使用した転がり軸受（以下、ハイブリッド軸受と記載する）と同様に、音響耐久性、耐フレッチング性を高め、さらにハイブリッド軸受の短所である耐衝撃性、予圧抜け、静電作用による不具合などの問題点を解決できないか鋭意検討を行なった。

【0027】その結果、転動体の母材として所定の軸受用鋼を用い、表面層に好ましくは硬さHv1100以上の窒化層を設け、さらに、窒化層下地の硬度及び窒化層厚さ等の最適化を図ることで、静粛性、耐フレッチング性、耐衝撃性等が極めて優れた情報機器用玉軸受などの転がり支持装置を提供できることを見出した。さらに、本発明者らは、転動体のみならず、転がり支持装置を構成する転動部材である外方部材や内方部材についても、上記転動体と同様の構成とすることにより、転がり支持装置の耐久性（高速耐久性、高温静置に対する耐久性等）を飛躍的に高めることが可能であることを見出した。このことにより、転がり支持装置が組み込まれた機器の高性能化に伴う問題点を解決できる。

【0028】かくして、本発明に係る転がり支持装置は、外方部材と、内方部材と、前記外方部材と前記内方部材との間に転動自在に配設された複数の転動体と、を備えた転がり支持装置において、前記外方部材、前記内方部材、及び前記転動体のうち少なくとも前記転動体を、Crの含有量が3重量%以上である鋼で構成するとともに、その表面層に硬さがHv900以上の窒化層を設け、前記窒化層の厚さを、転動体直径Daの1.5%以上6%以下及び転動体直径Daの1.5%以上100μm以下のいずれか一方としたことを特徴とする。

【0029】なお、本発明における転がり支持装置としては、例えば、転がり軸受、ボールねじ、リニアガイド（直動案内軸受）等があげられる。そして、本発明における前記外方部材及び前記内方部材とは、前記転がり支持装置が転がり軸受の場合には、外輪及び内輪を意味する。また、同じくボールねじの場合には、雌ねじを有するナット及び雄ねじを有するねじ軸を意味する。さらに、同じくリニアガイド（直動案内軸受）の場合には、スライダ及び案内レールを意味する。

【0030】以下に、本発明の臨界的意義について説明する。

（外方部材、内方部材、及び転動体の構成材料である鋼について）転がり支持装置を構成する転動部材である外方部材、内方部材、及び転動体の母材となる軸受用鋼は、表面特性、特にフレッチング耐久性の観点から、Crを少なくとも3重量%、好ましくは5重量%以上、より好ましくは8重量%以上含有する高Cr鋼とする。

【0031】さらに、静粛性の観点から、鋼の炭素（C）含有量とCr含有量との関係を、 $C\% \leq 0.05Cr\% + 1.41$ を満たすようにすることが好ましい。その結果、表面に形成される窒化層が、微細なCr窒化物等の析出等によって非常に高硬度となり、摺動

性、耐フレッチング性、高速耐久性などが大幅に向上する。また、前記窒化層は耐熱性等にも優れていて、その厚さに関して一定の要件を具備した場合は、高温静置に対する耐久性や耐衝撃性等をも飛躍的に向上させる作用がある。これについては、後述する。

【0032】また、上記関係式を満たさない場合には、凝固過程で長径 $10\mu\text{m}$ を超える粗大な共晶炭化物を生成して、転動体の場合には、素材の線引き時に断線の問題が生じたり、転動体及び外方部材、内方部材の場合には、仕上げ加工の際に、これら共晶炭化物が仕上げ加工精度を阻害して目標精度が得られなくなるなどの問題が生じる場合がある。なお、上記のような問題をより生じにくくするためには、含有する共晶炭化物の大きさは、長径が $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0033】また、窒化処理によって芯部は非常に高い温度で焼戻しを受けることになって、幾分軟化する。この芯部の軟化を抑えるためには、炭素と窒素の総含有量を 0.45 重量%以上とすることが好ましい。 0.05 重量%以上窒素を合金化したものを使用すると、より軟化を抑えることができ、さらに炭化物の微細化にも寄与するので、より好ましい。また、上記成分に加えて、 Mo 、 V 、 W 、 Nb 、 Al 、 Si 等の窒化物形成元素を複合的に添加すると、これらの微細な窒化物が析出してより耐久性が向上するため、コストが許される範囲で添加してもよい。

【0034】(転動体の製造方法及び完成品品質について) 転動体の製造は、まず、冷間で引抜加工された線材を用い、ヘッダーによる冷間加工あるいは切削加工とフラッシング等により素球を製作し、焼入れ後にサブゼロ処理及び焼戻しを行ない、荒研削加工を行う。その後、後述の半加工球を作製するのであるが、その際取り扱いはボールピーニング等の機械的硬化加工により、表面硬度を高めておくことよい。これらの機械的硬化方法は、鋼中の残留オーステナイトをマルテンサイトへ誘起変態させることにも寄与し、転動体に起因する転がり支持装置の耐衝撃性の低下を抑制する作用もある。

【0035】その後、目標寸法すなわち完成品寸法に設定取りしりを加算した寸法まで研削加工を行なう(以降は、こうして得られたものを半加工球と称する)。設定取りしりは、具体的には目標とする精度まで仕上げ加工を行なう際の必要取りしりを指すが、もちろん窒化処理による膨縮量も含めたものを指す。この半加工球の精度は、真球度 $3.0\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、より好ましくは $1.0\mu\text{m}$ 以下である。その理由は次の通りである。

【0036】一般に窒化層は、処理物の形状にならった形で生成する。そのため、真球度の劣悪な転動体に窒化層を設けて仕上げ加工すると、不均一に研削されることになって、窒化層厚さが不均一となると同時に、窒化処

理によって生じた内部応力のバランスもくずれるので、精度を出すために研削に長時間を要したり、場合によっては目標精度が達成できなくなるのである。

【0037】窒化処理には、一般的に、ガス窒化、塩浴窒化、イオン窒化等があげられるが、イオン窒化は量産性に欠け、処理物の形状等の影響も強く受け、球体表面に均一な窒化層を形成させることはできない。また、一般のガス窒化、塩浴窒化は処理温度が $480\sim 600^{\circ}\text{C}$ と比較的高く、その際、芯部は焼戻し作用により軟化する。

【0038】しかし、転がり支持装置に荷重が加わると、深さ方向に大きな剪断応力を受けることになるので、窒化層の下地の硬度も極めて重要である。すなわち、上記の一般的な窒化方法の場合、窒化処理温度が高く、母材に十分な耐熱性がなくて芯部が著しく軟化すると、表面の窒化層を支える下地の強度が不足して、転がり支持装置が高い接触応力を受けた際に表面窒化層の破損を招くことがある。そこで、芯部硬度を $\text{HRC}57$ 以上確保しておくことが好ましい。

【0039】また、窒化処理温度が高いと、窒化処理後において真球度、直径相互差等が大きく低下し、やはり鋼球の精度及び諸機能において不具合を生じる。したがって、窒化処理温度は好ましくは 450°C 以下、さらに好ましくは 420°C 以下とする。また、窒化層は処理温度が低いほど緻密であり、粗悪なポーラス層は生成しない。そのため、ラップ仕上げ後の表面粗さやウェーベネス等も向上する傾向にある。具体的には、次に記載した窒化方法が好適に利用できる。

【0040】一般のガス窒化の場合は、処理温度を低くするとアンモニアガスの反応性が低下する。加えて、 Cr を多量に含有する鋼の場合には表面層に緻密な Cr 酸化物層が形成されているために、これが窒化を阻害し均一な窒化層を形成できなくなる場合がある。また、塩浴窒化の場合は、基本的には塩浴の融点が高いため、処理温度を下げることには限界がある。

【0041】そこで、本発明の窒化プロセスとしては、例えば、 Nv 窒化プロセス(大同ほくさん株式会社の商品名)が好適に使用できる。この処理は、窒化処理の前処理として、例えば NF_3 (三フッ化窒素)等のフッ素系ガスを用いて $250\sim 400^{\circ}\text{C}$ 程度でフッ化処理を行なうプロセスと、 NH_3 ガスによる窒化処理を行なうプロセスとからなっている。

【0042】フッ化処理により、窒化反応を阻害する Cr 酸化物層が除去されて表面層にごく薄いフッ化層が形成され、表面が極めて活性化する。そのため、その後の窒化処理を 400°C 程度の低い温度で行っても、非常に均一な窒化層を形成させることが可能となるのである。その結果、表面に生成した窒化層は非常に緻密なものとなって、且つ窒化処理後に転動体の精度が劣化することも抑えられ、その後の仕上げ加工が比較的容易に行えると

いうメリットもある。

【0043】もっとも、上記プロセスはあくまで例示であって、塩浴窒化であっても、塩浴の組成によってはその融点を $420\sim 430^{\circ}\text{C}$ とすることは一応可能であるので、処理温度が $450\sim 480^{\circ}\text{C}$ 程度の低温塩浴窒化であってもよい。その結果、表面層には硬さがHv900以上の窒化層が形成され、静粛性、耐衝撃性等が向上する。また、当該窒化層には(Fe, Cr)2-4N、CrN、Cr₂N等の微細な窒化物が多量に析出するので、前述のような種々の耐久性が飛躍的に向上する。なお、上記の諸性質をより好ましいものとするためには、窒化層の硬さはHv1100以上が好ましく、Hv1200~1400程度が特に好ましい。

【0044】また、転がり支持装置が衝撃荷重を受けた際に、外方部材や内方部材に圧痕形成が起こって音響劣化する場合があり、この対策として、残留オーステナイトを可能な限り低減することが有効であることは前述の通りである。しかし、一般に、転がり支持装置の外方部材あるいは内方部材(転がり軸受の場合は外輪あるいは内輪)の溝曲率は転動体の曲率よりやや大きく設計されているため、実際には転動体の方がより高い接触応力を受け易く、表面に非常に高硬度の窒化層を付与した転動体の場合には、窒化層の厚さが重要なファクターとなる。

【0045】本発明者らは、窒化層の厚さに関して詳細に検討を行なった。均一で安定した窒化層を形成させるためには、一定の窒化処理時間が必要となり、その厚さが大きい方が好ましい場合がある。さらに、歪み速度が比較的大きい場合、つまり衝撃荷重を受ける場合には、応力体積に占める窒化層の割合が大きいほど転動体表面の剛性が増し、結果として耐衝撃性が向上する。そのため、窒化層の厚さは転動体直径Daの1.5%以上とする必要があり、転動体直径Daの2.0%以上とすることがより好ましい。

【0046】ただし、窒化層の厚さがより厚くなると、転動体表面の剛性が増すかわりに軌道輪等の外方部材、内方部材に圧痕形成が起こり易くなる場合もあるため、外方部材、内方部材は残留オーステナイトを1%以下とした軸受用鋼から構成することが好ましい。外方部材、内方部材に関するより好ましい形態については、後に詳細に述べる。

【0047】また、必要以上の厚い窒化層を設けることは、すなわち窒化処理時間の延長につながり、処理コスト及び窒化処理後の真球度低下による加工コストの増大、さらには表面組織が粗くなって要求精度を満足できない場合や諸特性が低下する場合もあるため、好ましくない。したがって、その窒化層の厚さを転動体直径Daの6%以下又は $100\mu\text{m}$ 以下とする必要がある。転動体直径Daが 1.667mm 以下の場合には、窒化層の厚さを $100\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

【0048】また、転動体は窒化処理が施された後に仕上げ加工されて、目標精度、具体的にはJIS B 1501記載の等級10以上(スイングアーム用軸受の鋼球グレードも包含する)の高精度球に仕上げ加工される。近年、HDD等の情報機器に使用される玉軸受、特にスピンドル用軸受においては、さらに高精度の高精度球が求められており、この場合には、等級3以上とすることが好ましく、さらに好ましくは、真球度及び径相互差を $0.05\mu\text{m}$ 以下、表面粗さを $0.003\mu\text{mRa}$ 以下とする。

【0049】以上の方法により作製された転動体の完成品表面の窒化層の厚さは非常に均一で、静粛性、耐フレッチング性、耐衝撃性はもちろんのこと、高速回転時の音響耐久性及びバーイン特性(転動体表面のウェービネスの経時変化による音響劣化)も向上する。

(外方部材、内方部材の製造方法及び完成品品質について)外方部材、内方部材の構成材料である鋼については前記の通りであり、JIS G 4805記載のSUJ2はもちろんのこと、SUJ3及びこれらに類似した高炭素軸受用鋼、SCR、SCM等の肌焼鋼を使用することができる。

【0050】ただし、衝撃荷重による音響劣化を防止するため、それらは焼入れ硬化した後、サブゼロ処理あるいはショットピーニングなどの機械的硬化方法、さらには焼戻しなどの手法により、軌道面表面における残留オーステナイトを限りなく低減することが好ましい。残留オーステナイト量は1%以下とすることが好ましく、また、摩耗や剪断応力に耐えるために、硬度はHRC58以上とすることが好ましい。

【0051】また、軌道面表面に浸炭窒化層を形成させると、軌道輪に起こる圧痕形成も起こり難くなって耐衝撃性は飛躍的に向上する。そのため、軌道輪の完成品品質について、次のように規定することが好ましい。その理由及び形態に関する臨界的意義について、以下に説明する。通常、外方部材、内方部材に浸炭窒化処理がなされる場合は、その表面に残留オーステナイトを多量に含有させて、異物混入潤滑下における転がり寿命を確保することに主眼が置かれるのが一般的である。しかし、残留オーステナイトは、前記したように静粛性が要求される小型の転がり軸受等においては有害であって、これを残留させることは好ましくない。したがって、本発明にあっては、浸炭窒化焼入れ後に引続いて、 $250\sim 320^{\circ}\text{C}$ 程度の温度で焼戻しを行なうことによって、残留オーステナイトを1%以下とする。

【0052】ただし、窒化層による十分な効果を得るためには、窒化層の転動体直径Daの2%の深さ位置における窒素濃度を0.1重量%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.3重量%以上である。また、焼入れ後に残存した残留オーステナイトを直接、焼戻しで分解させるよりも、焼入れ後にサブゼロ処理あるいは

ショットピーニング、ボールピーニング等の機械的硬化方法によってマルテンサイトに誘起変態させ、焼戻しを行なう前に可能な限りこれを低減化しておいた方が、さらに高い耐衝撃性が得られるのでより好ましい。さらに、外方部材、内方部材の軌道面表面の硬さを、HRC 62以上とすることが好ましい。

【0053】外方部材、内方部材の製造方法及び完成品品質については、前述の転動体の場合と同様である。すなわち、Crの含有量が3重量%以上である鋼で構成するとともに、その表面層に硬さがHv900以上の窒化層を設け、前記窒化層の厚さを、転動体直径Daの1.5%以上6%以下及び転動体直径Daの1.5%以上100 μ m以下のいずれか一方とする。外方部材、内方部材の軌道面表面に窒化層を設けると、外方部材、内方部材に圧痕が生じにくくなって、耐衝撃性が飛躍的に向上する。

【0054】以下に、転がり軸受を例として、具体的な製造方法を述べる。まず、旋削加工により所望の形状に加工された軌道輪を、焼入れ、焼戻しを行なうことによって硬化させる。場合によっては、焼戻しの前にサブゼロ処理を行なう。一般に、この時点の軌道輪の精度は、例えば、真円度が数十～100 μ m以上であり、これに前述の窒化処理を行なうと、形成した窒化層が研削時に不均一に加工されることになる。そうすると、所望の窒化層を残留させることができなくなるばかりか、応力バランスが崩れて目標精度が達成できなくなったり、研削取りしろが増加して研削に長時間要するなど、弊害が多くなる。そのため、焼入れ硬化した後には引続いて研削加工を行ない、少なくとも真円度1 μ m以下まで研削仕上げ加工を行なうことが好ましい。

【0055】また、このときの軸受寸法は、窒化処理を行なうと窒化層の厚さに見合った膨張を来すため、その膨張量を考慮したものにしておく必要がある。その後、前述の転動体の場合と同一の窒化処理に供される。なお、窒化処理後には、酸化物や窒化物等の粗悪な粒子又は異物等が表面に付着しているため、パレル又はその

他の機械的な方法によって、これらを除去することが好ましい。

【0056】また、本発明の窒化方法によれば、窒化処理後に著しくその精度が低下することはないが、膨張量等のばらつきやその精度等を考慮すると、特に、情報機器用の転がり軸受においては、再研削仕上げ加工（ラップ仕上げ加工を含む）を窒化処理後に行なうことが好ましい。その場合、転動面の粗さを0.1 μ m以下とすることが好ましく、さらに好ましくは0.05 μ m以下である。窒化層のその他の品質に関しては、前述の転動体の場合と同様である。

【0057】

【発明の実施の形態】本発明に係る転がり支持装置の実施の形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。図2は、本発明に係る転がり支持装置の一実施形態である転がり軸受の断面図である。この転がり軸受は、複数の転動体（ボール）3と、それよりも内方に位置する内輪1と、それよりも外方に位置する外輪2とからなり、転動体3は内輪1と外輪2との間に保持されながら、転がり案内される。このとき、内輪1及び外輪2には、転動体3を案内するための転動溝が設けられており、転動体3は、前記転動溝において保持器4によって等配に保持されている。また、転動体3には後述する方法により、その表面に窒化層Nが設けられている。

【0058】このような転がり軸受にあつて、実施例と比較例との軸受の静粛性及び各種耐久性評価はすべて玉軸受695（JIS呼び番号）で行なった。なお、軸受に組み込まれる転動体としては、すべて等級3以上までラップ加工されたものを使用し、保持器にはプラスチック保持器を、潤滑には内部防錆油及び鉱油系グリースを使用した。

【0059】本実施の形態における転動体は以下の方法で製作した。なお、転動体材料には、表1記載の成分組成を有する記号A-1～A-4の鋼を使用した。

【0060】

【表1】

材料記号	炭素濃度 (wt%)	クロム濃度 (wt%)	炭素濃度上限 1) (wt%)	備考
A-1	1.00	1.5	1.34	SUJ2
A-2	1.07	17.2	0.55	SUS440C
A-3	0.8	8.0	1.01	
A-4	0.45	13.0	0.76	窒素濃度0.15wt%

1) 次式から導かれる炭素濃度の上限値。 $C\% = -0.06 \times Cr\% + 1.41$

【0061】まず、直径1.5mmの線材を用いてヘッダー加工及びフラッシングにより素球を作製し、これに焼入れ、サブゼロ処理、焼戻しを行なった。次いで、粗研削加工を行なった後にボールピーニングを行ない、引き続き真球度1.0 μ mまで仕上げ加工を行ない、窒化処理、仕上げ加工（ラップ仕上げ）を施した。当該窒化処理については、410～440℃×24～48時間のN₂窒化プロセスにより行なった。図3に、その転動体

製造工程の概略図を示す。以上の工程を経て、JIS等級G3以上、真球度及び径相互差0.05 μ m以下、面粗さ0.003 μ mRa以下の転動体を得た。

【0062】表2に、この転動体の完成品品質を示す。材料記号は表1に示すものである。

【0063】

【表2】

転動体記号		材料記号	表面硬さ (Hv)	窒化層厚さ Da比(%)	芯部硬さ (HRC)
実施例	B-1	A-3	1197	2.4	59.6
	B-2	A-3	1223	2.0	59.8
	B-3	A-4	1356	2.5	59.7
	B-4	A-4	1345	4.2	59.8
	B-5	A-4	1358	5.9	59.9
比較例	C-1	A-1	754	—	42.1
	C-2	A-2	1298	2.1	59.7
	C-3	A-3	1213	0.9	59.9
	C-4	A-4	1321	1.2	59.8

【0064】表中の表面硬さは、荷重100gで転動体表面を直接ピッカース硬度計により測定した結果を示す。芯部硬さは、ボールを熱可塑性樹脂に包埋した後、研磨して得られる断面の芯部硬度を荷重100gでピッカース硬度を測定し、ロックウェルC硬度に換算したものである。また、窒化層厚さは、熱可塑性樹脂に包埋した転動体を適当な断面径まで研磨してマーブル試薬でエッチングを行ない、観察面の転動体断面径と、その断面径においてエッチングした後に明瞭に観察される窒化層厚さとをそれぞれ顕微鏡で測定し、測定された直径及び窒化層厚さに基づいて、幾何学的に真の窒化層厚さを算出することで求めた。図4の転動体の断面図において、転動体の表面部分に示されている白層が窒化層である。

【0065】また、本発明における転動体の精度は、真球度が0.05 μ m以下、ボールウェーブネスがM.

B. (円周あたりの山数5~30)で40n μ c以下、

H. B. (円周あたりの山数30~160)で83n μ c

c以下のものである。なお、図4には、本発明の転動体の断面図の一例を示したが、非常に均一に且つ緻密な窒化層が形成されていることが確認できる。

【0066】一方、軌道輪にはSUJ2を用い、以下の二通りの熱処理のいずれかを施した。なお、それぞれ鋼中の残留オーステナイトはほぼ完全に分解し消失している。

(1) 820~850℃で焼入れ後、サブゼロ処理、続いて220~240℃で焼戻しを施した(表3中の軌道輪の欄には「SUJ2」と記載)。

(2) 820~850℃で浸炭窒化焼入れ後、サブゼロ処理、続いて260~280℃で焼戻しを施した(表3中の軌道輪の欄には「SUJ2+浸炭窒化」と記載)。

【0067】軌道輪の軌道面表面硬さは、(1)の場合がHRC59.5、(2)の場合がHRC62.5であった。また、(2)においてEPMAで断面窒素濃度分布を測定した結果、2%Da深さにおける窒素濃度は0.34重量%であった。これらの転動体と軌道輪とを組み合わせてなる試料玉軸受について、音響耐久性、フレッチング耐久性、耐衝撃性等を評価した。

【0068】まず、試料玉軸受を予圧11.8N、回転数1800rpmで作動させたときのアキシャル振動加速度(G値)を測定することで初期音評価を行ない、その後各種評価試験に供した。表3に、その評価結果を記載した。

【0069】

【表3】

転がり軸受 記号		転動体 記号	軌道輪	フレック 耐久性	音響 耐久性	耐衝撃 落下性
実 施 例	D-1	B-1	SUJ2	0.31	0.21	1.1
	D-2	B-2	SUJ2	0.28	0.23	1.0
	D-3	B-3	SUJ2	0.24	0.18	1.1
	D-4	B-4	SUJ2	0.22	0.15	1.2
	D-5	B-5	SUJ2	0.23	0.16	1.2
	D-6	B-1	SUJ2+浸炭窒化	0.23	0.18	1.5
	D-7	B-2	SUJ2+浸炭窒化	0.20	0.18	1.2
	D-8	B-3	SUJ2+浸炭窒化	0.12	0.14	1.8
	D-9	B-4	SUJ2+浸炭窒化	0.11	0.13	1.7
	D-10	B-5	SUJ2+浸炭窒化	0.12	0.13	1.7
比 較 例	E-1	C-1	SUJ2	1.38	1.19	0.90
	E-2	C-2	SUJ2	0.69	0.45	1.00
	E-3	C-3	SUJ2	0.31	0.23	0.80
	E-4	C-4	SUJ2	0.24	0.16	0.87
	E-5	SUJ2	SUJ2	1.00	1.00	1.00
	E-6	Si3N4	SUJ2	0.24	0.19	0.82

【0070】音響耐久性評価は、予圧11.8N、回転数7200rpm、温度70℃で1000時間回転作動させた後、再度、アキシャル振動加速度(G値)を測定し、初期値からの音響劣化量を求め、全SUJ2製の比較例E-5の場合を1としたときの比で示した。したがって、表3中の数値が小さいほど音響耐久性に優れていることを示す。

【0071】フレッチング耐久性評価は、下記条件で揺動試験を行ない、初期値からの音響劣化量を求め、全SUJ2製の比較例E-5の場合を1としたときの比で示した。したがって、音響耐久性の評価結果と同様、表3中の数値が小さいほど音響耐久性に優れていることを示す。耐衝撃性評価は、玉軸受に11.8Nの予圧をかけた状態で、アキシャル方向に種々の高さ(30cm~1

m) から落下させて、試験前に対するG値上昇量を測定することで行なった。なお、軸受は外輪回転で、ハブを含めた総重量は35gとし、ハブに取り付けた加速度ピックアップにより、落下時の加速度を測定した。試験前に比較してG値が5mG増加した加速度を求め、全SUJ2製の比較例E-5の場合を1としたときの比で示した。したがって、表3中の数値が大きいほど、耐衝撃性に優れていることを示す。

【0072】表3より、本発明が音響耐久性、耐フレッチング性及び耐衝撃性のすべてにおいて比較例より優れていることがわかる。その耐フレッチング性、音響耐久性はセラミックスボールを使用した比較例E-6とほぼ同等あるいはそれ以上であり、耐衝撃性に関してはこれよりも格段に向上しており、SUJ2からなる転動体を使用した比較例E-5と比較しても同等以上である。特に、軌道輪を浸炭窒化したもの（実施例D-5～D-10）でその効果が著しい。

【0073】これに対して、比較例であるE-1はSUJ2からなる転動体表面を窒化処理した場合の例であるが、Cr含有量が少ないため十分な表面硬度が得られず、フレッチング耐久性、音響耐久性が劣っている。また、比較例E-2はSUS440Cからなる転動体の表面を窒化処理した場合の例であるが、粗大共晶炭化物が存在するため表面精度が得られ難く、本発明の実施例に比較してやや耐久性が劣っている。

【0074】また、比較例E-3及び比較例E-4は窒化層厚さが転動体直径Daの1.5%に満たない場合の例であるが、落下衝撃試験において転動体損傷に起因した音響劣化が認められた。以上、述べたように、本実施形態の転がり軸受は、セラミックスボールを使用したハイブリッド軸受に特有の問題であった衝撃落下時の音響劣化を防止できて、且つ、ハイブリッド軸受と同等あるいはそれ以上にフレッチング耐久性、音響耐久性を高めたものであるが、その他、以下に述べる利点もある。

【0075】セラミックスボールを使用した比較例E-6の場合の構成では、窒化ケイ素(Si₃N₄)セラミックスの比抵抗は10¹³～10¹⁴Ω・cmと非常に大きくて静電気作用により異物を吸引し易く、製造工程においてゴミ音不良あるいは搬送トラブルが起こり易い。さらには、窒化ケイ素セラミックスは線膨張係数も非常に小さい(2.8×10⁻⁶/°C)ため、温度変化により予圧が変化してトルク変動が生じたり、極端な場合は完全に予圧が抜けてしまうという現象もある。

【0076】本実施例においては、基本的には鋼を利用したものであるため、比抵抗の面でも10⁻⁵Ω・cmであってSUJ2とオーダー的にそれほど変わらない。さらに、線膨張係数もSUJ2(12.5×10⁻⁶/°C)と比較してわずかに低下する(表1のA-4の場合、10.8×10⁻⁶/°C)のみで、軸受のハウジングの材質はフェライト系ステンレス鋼(10.4×10⁻⁶

/°C)が使用される場合が多く、むしろこの場合には0～70°Cにおける予圧荷重変化量は0.98Nとなり、全SUJ2の2.94Nに比較しても有利である。窒化珪素セラミックスの場合には、これが11.8Nという値になるため、初期予圧が20°Cで7.84N程度である場合には、70°Cで完全に予圧が抜けてしまう結果となる。

【0077】図5には、転動体表面に形成した窒化層厚さの転動体直径Da比と落下衝撃試験における耐衝撃性との関係を示した。図5から分かるように、この比が1.5%以下の場合には、軌道輪がSUJ2であるものと、軌道輪がSUJ2に浸炭窒化したものとの差が無くなっている。すなわち、窒化層厚さの転動体直径Daに対する比が1.5%の場合には、落下衝撃時に転動体に起因した音響劣化が起こっているものと考えられる。

【0078】これが1.5%以上になると、転動体の剛性が増して耐衝撃性が向上し、さらに軌道輪がSUJ2であるものと、軌道輪がSUJ2に浸炭窒化したものとの差が認められる。すなわち、転動体表面の窒化層厚さの転動体直径Daに対する比が1.5%以上でないと、真に落下衝撃時の音響劣化を防止できない。特に、窒化層厚さの転動体直径Daに対する比が2%を超える場合にその効果が大きい。また、軌道輪を浸炭窒化した場合には、さらにその改善効果が大きい。これは、マルテンサイト中に固溶している炭素や窒素などの侵入型元素が転位を固着させる雰囲気を形成し、さらに焼戻し時に析出した炭化物あるいは炭窒化物が転位の運動を抑制する作用があるためと考えられる。

【0079】しかし、焼戻し温度が高すぎると、焼戻し作用によって固溶している炭素、窒素がさらに炭化物あるいは炭窒化物となって析出し、さらにはそれらが次第に凝集していくために、転位を固着させる作用が小さくなり、さらに、焼戻し過程で析出した炭化物や炭窒化物が凝集しあうために転位のピンニング効果も小さくなる。すなわち、転位強化機構が緩和されるため耐衝撃性が低下する。したがって、焼戻し温度は残留オーステナイトがほぼ完全に分解する温度がもっとも好ましく、必要以上に高くすることは好ましくない。好ましい焼戻し温度は、250～320°Cである。

【0080】浸炭窒化処理することにより好ましい結果が得られるのは、固溶窒素がより転位を固着させることに加え、炭窒化物がより効果的に転位のピン止めに作用するためではないかと考えられるが、本発明者らが詳細に検討を行なった結果、軌道輪において、転動体直径Daの2%深さにおける窒素濃度を少なくとも0.1重量%以上(最表面においては、それより若干大きい)確保しないと、その効果は非常に小さかった。より好ましくは、転動体直径Daの2%深さにおける窒素濃度を、少なくとも0.3重量%以上とするのが良い。

【0081】次に、本発明に係る転がり支持装置の他の

実施形態である転がり軸受について、各種耐久性評価を行った結果を説明する。使用した転がり軸受はすべて、内径6.350mm、外径9.525mm、幅3.175mmの寸法形状を有する日本精工株式会社製玉軸受である。なお、転がり軸受に組み込まれる転動体としては、すべて直径Daが1.0mmで等級5相当のものを、保持器としてはプラスチック保持器を用い、潤滑には内部防錆油及び鉱油系グリースを使用した。

【0082】また、材料である鋼には、以下に示すもの（鋼A、B、C）及び高炭素クロム軸受鋼SUJ2を用いた。そして、これらの鋼中の残留オーステナイト量を4%以下にするとともに、転動体、軌道輪の表面層に所

望の窒化層を形成させた。さらに、比較例として、窒化層の厚さが本発明の要件を満たしていない場合についても評価を行なった。

【0083】

鋼A：C含有量0.60重量%、Cr含有量1.3重量%、N含有量0.15重量%

鋼B：C含有量0.80重量%、Cr含有量8.0重量%

鋼C：C含有量0.80重量%、Cr含有量4.0重量%

【0084】

【表4】

実施例 /比較例	No.	転動体			軌道輪			音響耐久性	フレッチング 耐久性	耐衝撃性	高温静置 耐久性	耐食性
		鋼種	表面硬さ (Hv, 100g)	窒化層厚さ Da比(%)	鋼種	表面硬さ (Hv, 100g)	窒化層厚さ Da比(%)					
実施例	F-1	A	1310	1.8	A	1285	1.7	0.1以下	0.1以下	1.82	○	○
	F-2	A	1305	2.5	A	1265	2.1	0.1以下	0.1以下	2.0以上	○	○
	F-3	A	1345	7.5	A	1291	7.0	0.1以下	0.1以下	2.0以上	○	○
	F-4	A	1340	10.0	A	1305	9.8	0.1以下	0.1以下	2.0以上	○	○
	F-5	B	1265	7.8	B	1255	7.1	0.1以下	0.1以下	2.0以上	○	△
	F-6	C	1145	7.7	C	1123	7.3	0.1以下	0.1以下	2.0以上	○	△
比較例	G-1	SUJ2	864	—	SUJ2	694	—	1.00	1.00	1.00	×	×
	G-2	A	812	—	A	732	—	0.72	0.67	0.73	×	○
	G-3	A	1345	7.5	SUJ2	694	—	0.21	0.26	1.22	×	×
	G-4	SUJ2	864	—	A	1291	7.0	0.46	0.76	1.56	×	○
	G-5	A	1289	1.3	A	1286	1.2	0.1以下	0.1以下	0.91	○	○

【0085】表4に、転動体及び軌道輪の完成品品質とそれらを使用した転がり軸受の耐久性評価結果とを示す。表中の表面硬さは、荷重100gで転動体の表面及び軌道輪端面の表面を直接ビッカース硬度計により測定した結果である。また、窒化層厚さは、転動体においては、熱可塑性樹脂に包埋した転動体を適当な断面径まで研磨してマーブル試薬でエッチングを行ない、観察面の転動体断面径とその断面径においてエッチング後において明瞭に観察される窒化層厚さとをそれぞれ顕微鏡で測定し、測定された直径及び窒化層厚さに基づいて幾何学的に算出することにより求めた。

【0086】また、軌道輪においては、熱可塑性樹脂に包埋した軌道輪の切断面を、マーブル試薬でエッチングを行ない、直接窒化層厚さを測定した。なお、ここでは、エッチング後に観察される窒化による影響を受けた層を、すべて窒化層とみなした。また、測定値として得られた窒化層厚さが真の値となるように、転動体の場合は中心を通る断面（断面積が最大となる様な断面）における窒化層厚さ、軌道輪の場合は軸線を含む断面における窒化層厚さに、測定値を補正した。

【0087】転がり軸受の耐久性評価については、音響耐久性、フレッチング耐久性、耐衝撃性、高温放置耐久性、耐食性等について評価した。まず、前記玉軸受を予圧4.9N、回転数1800rpmで作動させたときのアキシャル振動加速度（G値）を測定することで初期音評価を行ない、各種評価試験に供した。

【0088】音響耐久性評価は、予圧4.9N、回転数

15000rpm、温度70℃で1000時間回転作動させた後に、再度アキシャル振動加速度（G値）を測定し、初期値からの音響劣化量を求めることにより行なった。そして、全て（転動体及び軌道輪）がSUJ2製の玉軸受である比較例G-1の値を1としたときの比により示した。したがって、表中の数値が小さいほど音響耐久性が優れていることを示す。

【0089】フレッチング耐久性評価は、常温で予圧4.9N、揺動角度8deg、揺動周波数30Hz、揺動回数1000万回試験を行なった後、再度アキシャル振動加速度（G値）を測定し、試験前に対するG値の上昇量を求めることにより行なった。そして、全SUJ2製の比較例G-1の値を1としたときの比で示した。したがって、音響耐久性評価と同様に、表中の数値が小さいほどフレッチング耐久性に優れていることを示す。

【0090】耐衝撃性評価は、アキシャル荷重を9.8Nづつ増加させながら294Nまで負荷し、除荷した後、再度アキシャル振動加速度（G値）を測定し、試験前に対するG値の上昇量を求めることにより行なった。そして、5mG増加したアキシャル荷重を耐衝撃荷重とした。表中には、全SUJ2製の比較例G-1の耐衝撃荷重を1としたときの比で示した。したがって、表中の数値が大きいほど耐衝撃性に優れていることを示す。

【0091】高温静置耐久性は、予圧を4.9N付与し、110℃に155時間保持した後、再度アキシャル振動加速度（G値）を測定し、試験前に対するG値の上昇量を求めることにより行なった。そして、5mG以上増

加したものを不良と評価し、表中に×印で表し、5mG以下であったものは良好と評価して、○印で表した。耐食性評価は、70℃、95%RHの条件で2週間湿潤試験を行ない、発錆の有無により評価した。表においては、発錆が見られなかったものを○印、著しい発錆が見られたものを×印、発錆は認められるが比較例G-1よりも明らかに良好であるものを△印で示した。

【0092】表4より、本実施例(F-1~F-6)の転がり軸受は、すべての評価試験において比較例より勝っていることが分かる。なお、これらの転がり軸受の窒化層の厚さは、転動体直径Da(1.0mm)の10%以下、すなわち100μm以下となっている。これに対して、比較例G-1は、内輪、外輪、転動体のすべてがSUJ2の場合の例であるが、すべての項目において前記実施例より劣っている。また、比較例G-2は、内輪、外輪、転動体のすべてが、マルテンサイト系ステンレス鋼である鋼Aを窒化処理しないで使用した場合の例であるが、耐食性を除くその他の項目すべてにおいて前記実施例より劣っている。

【0093】また、比較例G-3及び比較例G-4は、軌道輪(内輪、外輪)及び転動体のいずれか一方に、窒化処理した鋼Aを使用した場合の例であるが、構成部品(軌道輪及び転動体)のすべてが本発明の構成要件(鋼の組成、窒化層の有無及び厚さ)を満たしているわけではないため、高温静置耐久性が改善されていない。図6に、比較例G-1の転がり軸受を高温静置耐久性試験した後に音響測定し、その結果を周波数解析(エンベロープ解析)したチャートの一例を示す。図6からも明らかなように、110℃に長時間保持した場合には、転動体、外輪、内輪すべてにおいて、音響劣化要因(ブリネル痕の存在)が確認できる。したがって、このことは転がり軸受の構成部品のすべてが本発明の構成要件を満たしている場合でなければ音響耐久性が改善できず、転がり軸受等の転がり支持装置が組み込まれる機器において、転がり軸受等の転がり支持装置の周辺温度に対する対策を講じる必要があることを示している。

【0094】また、比較例G-5には、窒化層厚さを除き、内輪、外輪、転動体のすべてが本発明の要件を満足する場合の例であるが、窒化層厚さが不足していることから耐衝撃性が改善されていない。さらに、表4からも明らかなように、前記実施例の転がり軸受は15000rpmの高速回転に対する音響耐久性も具備しており、前記機器の高性能化に対して充分対応できるものと考え

られる。

【0095】さらにまた、前記実施例の転がり軸受は、従来のSUJ2製の転がり軸受よりも耐食性に優れているから、絶乾仕様が要求される場合、例えばスイングアーム用軸受等に対しても適用可能である。なお、本実施形態は本発明の一例を示したものであって、本発明は本実施形態に限定されるものではない。例えば、本実施形態においては、転がり支持装置として転がり軸受を例示して説明したが、本発明の転がり支持装置は、他の種類の様々な転がり支持装置に対して適用することができる。例えば、ボールねじやリニアガイド等である。

【0096】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明に係る転がり支持装置は、少なくとも転動体の表面層に非常に硬質且つ緻密な窒化層が最も適した厚さとなるように設けられているので、一般の転がり支持装置と比較して、静粛性はもちろんのこと、フレッチング耐久性、音響耐久性、耐衝撃性が優れている。

【0097】さらに、転がり支持装置が組み込まれた機器の高性能化に伴って低下する高速耐久性や高温静置に対する耐久性に関しても、大変優れている。また、本発明に係る転がり支持装置によれば、セラミック球を使用したハイブリッド軸受において問題視されている耐衝撃性、予圧抜け、及び静電気作用によるゴミ吸引に起因する音響不良などの問題も解決できて、且つ低コストに提供できるという多大なる効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】転動体表面のフレッチング摩耗痕の説明図である。

【図2】本発明の転がり支持装置の一実施形態である転がり軸受の縦断面図である。

【図3】本発明の転動体の製造工程の概略説明図である。

【図4】本発明の実施例の転動体の断面図である。

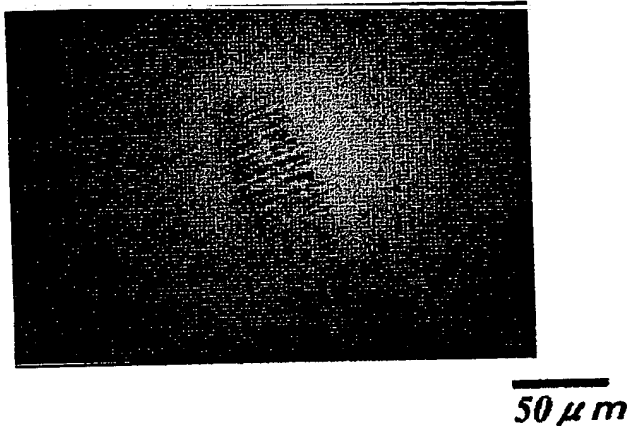
【図5】転動体の窒化層の厚さと耐衝撃性との関係を示す説明図である。

【図6】転がり軸受の音響測定結果を示すチャートである。

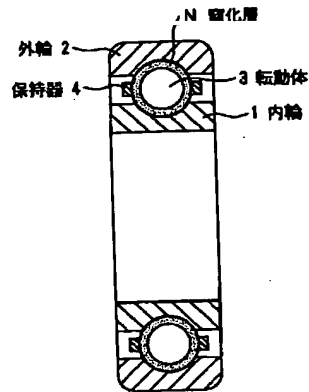
【符号の説明】

- | | |
|---|-----|
| 1 | 内輪 |
| 2 | 外輪 |
| 3 | 転動体 |
| N | 窒化層 |

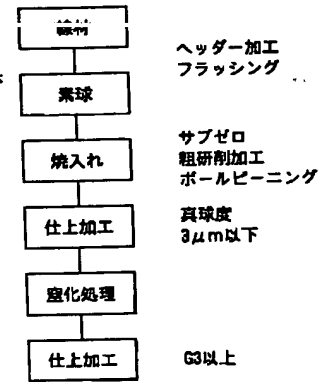
【図1】



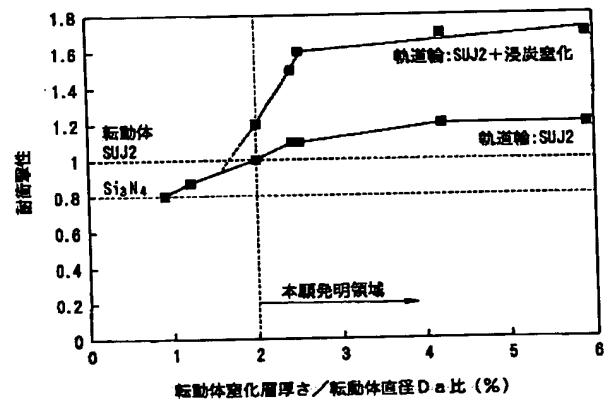
【図2】



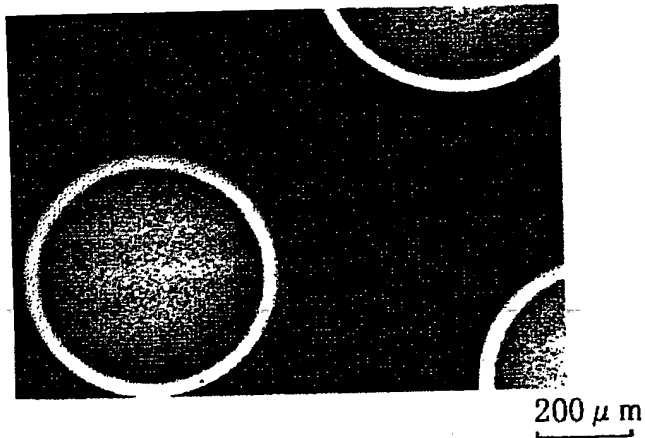
【図3】



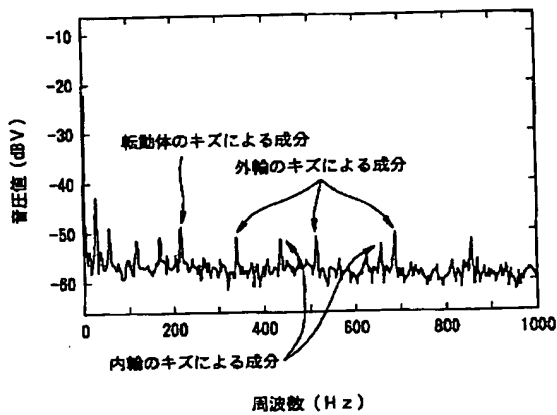
【図5】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テ-マコード (参考)

C 2 2 C 33/10

C 2 2 C 33/10

F 1 6 C 33/34

F 1 6 C 33/34

33/62

33/62

F 1 6 H 25/22

F 1 6 H 25/22

L

25/24

25/24

A

E

(72) 発明者 山村 賢二

神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

Fターム(参考) 3J101 AA02 AA32 AA42 AA54 AA62

BA70 DA02 EA02 FA31 FA35

GA24 GA53

4K042 AA14 AA22 BA03 CA06 CA07

DA06